

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Aplikace technické diagnostiky na obráběcích strojích ve firmě  
Armatury Group

Technical Diagnostics Application on Machine Tools in the  
Armatury Group Company

Student:

Martin Sütto

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Sütto**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: Aplikace technické diagnostiky na obráběcích strojích ve firmě  
Armatury Group  
Technical Diagnostics Application on Machine Tools in the Armatury  
Group Company  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Technická diagnostika obráběcích strojů je vzhledem ke specifickým vlastnostem těchto zařízení velmi problematická a náročná. Mezi tyto specifické odlišnosti lze považovat např. vysoké otáčky, velké nároky na přesnost a nízké vibrace. V rámci této bakalářské práce se zabývejte touto problematikou, proberte možnosti a úskalí aplikace technické diagnostiky na tyto zařízení.

### V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce nebo firma Armatury Group a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN 20 0065 *Metody měření a hodnocení mechanického kmitání-Mezní hodnoty kmitání*. Praha: Český normalizační institut, červen 1992. 16 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016

Martin Giller

podpis studenta

### Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2016.....

Martin Sütto  
.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Martin Sütto

Adresa trvalého pobytu autora práce: Stodolní 363, 747 14 Markvartovice



## **Anotace bakalářské práce**

Sütto, M. *Aplikace technické diagnostiky na obráběcích strojích ve firmě Armatury Group: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2016, 64 stran. Vedoucí práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Tato bakalářská práce je zaměřená na technickou diagnostiku CNC obráběcích strojů ve firmě Armatury Group. První kapitola práce seznamuje s firmou Armatury Group a popisuje stroje, na kterých je prováděna technická diagnostika. V následujících kapitolách jsou dále popsány technická diagnostika a dvě její metody - vibrodiagnostika a tribodiagnostika. V praktické části je vyhodnocení vibrodiagnostických a tribodiagnostických dat. Z těchto dat jsem zhodnotil technický stav obráběcích strojů.

## **Annotation of bachelor thesis**

Sütto, M. *Technical Diagnostics Application on Machine Tools in the Armatury Group Company: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2016, 64 pages. Thesis head: Ing. Jan Blata, Ph.D.

This thesis is focused on technical diagnosis of CNC machine tools in the Armatury Group Company. The first section of thesis introduces the Armatury Group Company, and describes the machines, which is carried out by technical diagnostics. Next sections are describes technical diagnosis and two of her methods - vibrodiagnostics and tribodiagnosics. In the practical part is evaluation of vibrodiagnostics and tribodiagnosics data. I determined technical condition of machine tools from these data.

## Obsah

Seznam použitých zkratk a jednotek.....	9
Úvod .....	10
1    ARMATURY GROUP a.s.....	11
1.1    Výroba a služby .....	12
1.2    Výrobní hala .....	13
1.3    Diagnostikované Stroje .....	14
1.3.1    Hermle C60.....	14
1.3.2    SHW UniSpeed 5 .....	15
1.3.3    Powerturn 2000 C1 .....	16
1.3.4    SKIQ 8 .....	18
1.3.5    SKIQ 12 .....	19
2    Technická diagnostika .....	20
3    Vibrodiagnostika .....	22
3.1    Signál .....	22
3.2    Snímače vibrací .....	24
3.2.1    Zásady pro umístění snímačů.....	27
4    Tribodiagnostika.....	27
4.1    Zásady pro odběr vzorků:.....	29
4.2    Tribodiagnostické zkoušky použité v této práci .....	29
4.2.1    Kinematická viskozita .....	30
4.2.2    Obsah vody.....	31
4.2.3    Číslo kyselosti .....	32
4.2.4    Rentgenová spektrometrie .....	33
4.2.5    Gravimetrie .....	34
4.2.6    Kód čistoty.....	35
4.2.7    Spektrální analýza .....	36
5    Aplikace technické diagnostiky na měřených strojích .....	37
5.1    Aplikace Vibrodiagnostiky:.....	37
5.1.1    Analýza vibrací.....	37
5.2    Aplikace tribodiagnostiky.....	39
5.2.1    Zkoumané oleje.....	39
5.3    Aplikace technické diagnostiky na stroji Hermle C60 .....	40
5.3.1    Vibrodiagnostika .....	40

5.3.2	Tribodiagnostika.....	42
5.4	Aplikace technické diagnostiky na stroji SHW UniSpeed 5.....	43
5.4.1	Vibrodiagnostika .....	43
5.5	Aplikace technické diagnostiky na stroji Powerturn 2000 C1.....	46
5.5.1	Vibrodiagnostika .....	46
5.5.2	Tribodiagnostika.....	49
5.6	Aplikace technické diagnostiky na stroji SKIQ 8.....	50
5.6.1	Vibrodiagnostika .....	50
5.6.2	Tribodiagnostika.....	53
5.7	Aplikace technické diagnostiky na stroji SKIQ 12.....	54
5.7.1	Vibrodiagnostika .....	54
5.7.2	Tribodiagnostika.....	57
6	Závěr.....	59
	Použitá literatura.....	62
	Seznam obrázků .....	63
	Seznam tabulek.....	64
	Seznam příloh.....	64



## Seznam použitých zkratk a jednotek

a	Zrychlení [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
A	Axiální směr
$A_{\text{max}}$	Maximální zrychlení vibrací [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
a. s.	Akciová společnost
CNC	Číslicové řízení počítačem (Computer Numeric Control)
cos	Goniometrická funkce kosinus
ČSN	Česká státní norma
dt	Derivace času
dv	Derivace rychlosti
dx	Derivace okamžité výchylky vibrací
$d^2x$	Derivace okamžité výchylky vibrací druhého řádu
f	Frekvence
FT-IR	Fourierova transformace s infračervenou spektrometrií
g	Tíhové zrychlení
H	Horizontální směr
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
Kč	Česká koruna (měna)
KOH	Hydroxid draselný
m	Hmotnost [kg]
n	Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]
obr.	Obrázek
RMS	Efektivní hodnota (Root Mean Square)
RTG	Rentgenové záření
sin	Goniometrická funkce sinus
t	Čas [s]
T	Časová perioda [s]
Tzn.	To znamená
v	Rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
V	Vertikální směr
$V_{\text{max}}$	Maximální rychlost vibrací [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
X	Okamžitá výchylka vibrací [mm]
$X_{\text{ave}}$	Průměrná hodnota výchylky vibrací [mm]
$X_{\text{max}}$	Maximální výchylka vibrací [mm]
$X_{\text{RMS}}$	Efektivní hodnota výchylky vibrací [mm]
XRF	Rentgenová fluorescence
$\pi$	Ludolfovo číslo
$\omega$	Úhlová rychlost [ $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

g	Gram, jednotka hmotnosti
Hz	Hertz, jednotka frekvence
kg	Kilogram, jednotka hmotnosti
$\text{Kg/m}^3$	Kilogram na metr krychlový, jednotka hustoty
kHz	Kilohertz, jednotka frekvence
kW	Kilowatt, jednotka výkonu
m	Metr, jednotka délky
$\text{m}^2$	Metr čtverečný, jednotka plochy
$\text{min}^{-1}$	Otáčky za minutu
mg	Miligram, jednotka hmotnosti
mgKOH/g	Jednotka čísla kyselosti
ml	Mililitr, jednotka objemu
mm	Milimetr, jednotka délky
$\text{mm}^2/\text{s}$	Jednotka kinematické viskozity
mm/s	Jednotka rychlosti
$\text{mm/s}^2$	Jednotka zrychlení
PPM	Jedna miliontina celku (parts per million)
rad/s	Jednotka úhlové rychlosti
s	Sekunda, jednotka času
$^{\circ}\text{C}$	Stupeň celsia, jednotka teploty

## Úvod

Úkolem této bakalářské práce je zhodnotit technický stav CNC obráběcích strojů ve společnosti Armatury Group. Bakalářskou práci v této společnosti jsem si vybral, protože se nachází blízko mého bydliště a rovněž je v ní pracuje několik mých rodinných příslušníků a známých, kteří mi o této firmě poskytly kladné reference.

Firma mě požádala o zhodnocení technického stavů relativně nových, ale i drahých obráběcích CNC center, které jsou popsány níže. Tyto stroje jsou důležitou součástí strojového parku ve výrobní hale v Dolním Benešově a s jejich pomocí jsou obráběny polotovary, ze kterých vzejdou hlavní produkty výroby – armatury.

Samotný technický stav strojů jsem se rozhodl určit z hlediska dvou oborů technické diagnostiky a to vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky. Provedl jsem tři měření vibrací pomocí analyzátoru a to ve zhruba 2 měsíčních odstupech, abych zjistil, zda se technický stav v tomto časovém horizontu mění. Vibrace byly zaznamenány pomocí tří snímačů umístěných ve vertikálním, horizontálním a axiálním směru. Vibrace byly u každého stroje změřeny na jednom měřicím místě - a to v místě uložení vřetene (pokud jím stroj disponoval) nebo v místě uložení upínacího stolu.

Provedl jsem rovněž odběr olejů k mazání upínacích stolů a převodové skříně těchto strojů. V laboratoři technické diagnostiky jsem provedl rozbor olejů s pomocí několika zkoušek, abych zjistil technický stav ložisek, ozubení i samotného oleje.

Ze získaných dat a poznatků mohu posoudit technický stav strojů, možné závady a případně navrhnout jejich odstranění.

## 1 ARMATURY GROUP a.s.

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury (1).

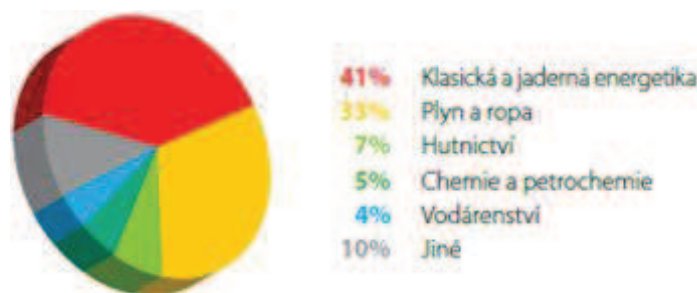
Armatury Group je společnost zabývající se výrobou průmyslových armatur, mimo to obstarává také s tím související potrubí a příslušenství, stejně tak poskytuje servisní služby a poradenství.

Armatury Group vznikla v roce 2000, sloučením tří společností operujících na českém a slovenském trhu. Společnost navazuje na tradici výroby armatur v oblasti Hlučínska. Má aktuálně přes 500 zaměstnanců a její roční objem produkce čítá více než 100 000 armatur a 500 000 položek potrubí a příslušenství. Více než 70 % z celkové produkce se prostřednictvím subdodavatelů exportuje do 65 zemí po celém světě. Mezi nejvýznamnější trhy, na kterých společnost působí, patří domácí trh, Slovensko, Rakousko, Polsko, Rusko, Čína a další. Obrat společnosti za rok 2014 činil téměř 2 miliardy Kč.



Obr. 1-1 Pohled na hlavní budovu a výrobní haly shora (2)

Výrobky z Armatury Group najdou uplatnění v mnoha oblastech průmyslu, nejvíce však v energetice, ropném a plynárenském.

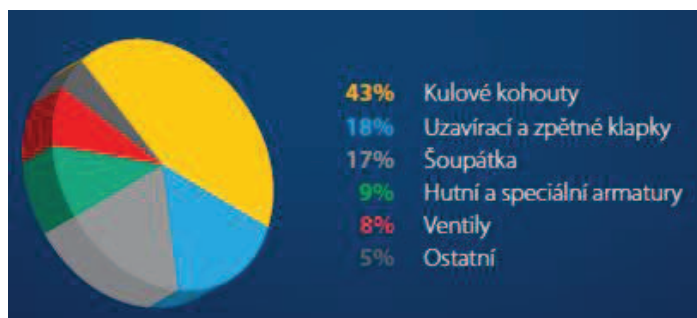


Obr. 1-2 Výšečový graf působností v průmyslových odvětvích (1)

## 1.1 Výroba a služby

### Průmyslové armatury:

Armatura je součást potrubí, jiná než trubka a právě armatury jsou hlavním produktem výroby společnosti Armatury Group. S pomocí armatur se trubky mohou spojovat, nebo zakončovat. Taktéž mohou sloužit k regulaci průtoku v potrubí nebo mohou plnit pojistné funkce.



Obr. 1-3 Výšečový graf výrobních produktů (1)

### Potrubí a příslušenství:

Mimo samotných průmyslových armatur je Armatury Group schopna zajistit i dodávku kompletní sestavy potrubní trasy její sestavení, uložení i konečné povrchové úpravy a to dle českých, evropských a světových norem a standardů.

Tento výrobní sortiment tedy tvoří:

Trubky a roury

Příruby

Tvarovky

Výkovky

Spojovací a těsnicí materiál

Prefabrikace potrubní

Svařence

## 1.2 Výrobní hala

Společnost disponuje rozsáhlými výrobními plochami o velikosti kolem 25000 m<sup>2</sup>, které jsou tvořené komplexem několika výrobních hal.



Obr. 1-4 Pohled na jednu z výrobních hal (1)

**V Armatury Group nalezneme tyto strojní zařízení:**

Numericky řízené CNC stroje

CNC horizontální centra

Karuselové soustruhy

Automaty pro svařování a navařování

Žíhací pece

Tryskací box

Lakovnu

Elektronicky řízený uskladňovací systém

Zkušební stoličky



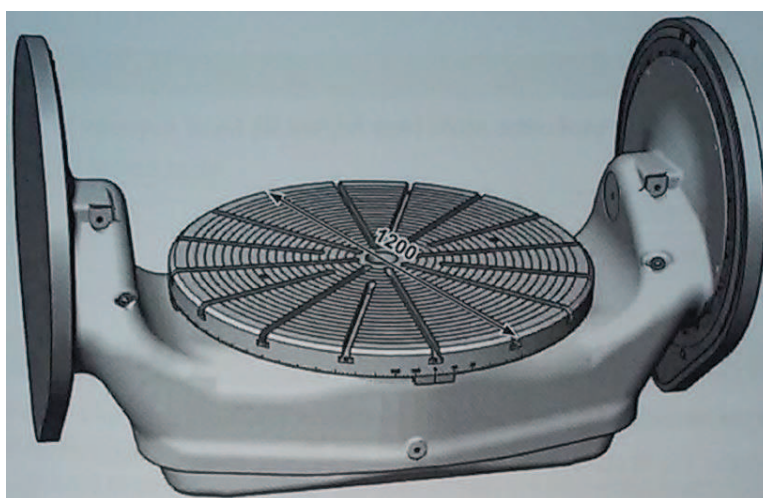
## 1.3 Diagnostikované Stroje

### 1.3.1 Hermle C60

Toto obráběcí centrum od německého výrobce Berthold Hermle AG slouží k frézování, vrtání a soustružení obrobků v malých a středních sériích. Obrobky se upínají na naklápěcí otočný stůl s pomocí 4 čelistového bloku SCHUNK. S vřetenem nástroje lze docílit vysokých otáček až 12000 [min<sup>-1</sup>]. Tento stroj je mazán pomocí centrálního mazání. Vnitřní konstrukci uložení upínacího stolu a vřetene se mi bohužel dohledat v technických materiálech.



Obr. 1-5 Stroj Hermle C60



Obr. 1-6 Naklápěcí otočný stůl Hermle C60, převzetí z technických listů

Tabulka 1-1 Technické parametry stroje Hermle C60

Rok výroby	2014
Výrobce	Maschinenfabrik Berthold Hermle AG
Výrobní číslo	22711
Výkon hlavního motoru	56 [kW]
Celková hmotnost	38000 [kg]
Průměr upínací desky	1200 [mm]
Maximální průměr obrobku	1300 [mm]
Otáčky obráběcí hlavy	20 ÷ 12000 [min <sup>-1</sup> ]
Otáčky upínací desky	1 ÷ 400 [min <sup>-1</sup> ]

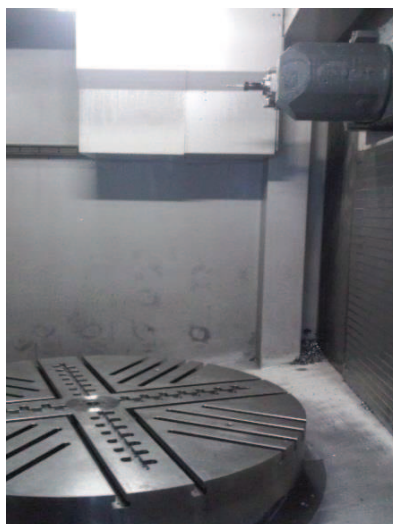
### 1.3.2 SHW UniSpeed 5

Toto univerzální obráběcí centrum, vyrobené německou firmou SHW Werkzeugmaschinen je vhodné pro klasické frézování, frézování závitů a vrtání. Vřeteník s nástrojem je veden vodorovně. Obrobek se upíná hydraulicko-mechanicky na kruhový otočný stůl. Stroj je mazán pomocí centrálního mazání. Vnitřní konstrukci uložení upínacího stolu a vřetene se mi nepodařilo dohledat v technických materiálech.



Obr. 1-7 Stroj SHW UniSpeed 5





Obr. 1-8 SHW UniSpeed 5 pohled zevnitř

Tabulka 1-2 Technické parametry stroje SHW UniSpeed 5

Rok výroby	2014
Výrobce	SHW Werkzeugmaschinen
Výrobní číslo	3281
Výkon hlavního motoru	36 [kW]
Celková hmotnost	40000 [kg]
Průměr upínací desky	1600 [mm]
Maximální průměr obrobku	1500 [mm]
Otáčky obráběcí hlavy	22 ÷ 6000 [min <sup>-1</sup> ]
Otáčky upínací desky	max. 250 [min <sup>-1</sup> ]

### 1.3.3 Powerturn 2000 C1

Tento stroj je určen pro soustružení obrobků v kusové výrobě, malých a středních sériích. Mimo běžného soustružení se na něm může provádět i soustružení kuželových ploch a závitů, broušení, osové i mimoosé vrtání, frézování i vystružování. Obrobek se upíná na upínací desku pomocí čtyřčelistového hydraulicko-mechanického upínání. Upínací deska je uložena na speciálním křížovém ložisku 912-306A PSL Povážská Bystrica. Stroj je mazaný centrálním mazáním, ložiska a ozubená kola v převodové skříni a uložení upínací desky mají společné mazací místo. Nádrž mazacího oleje je umístěna vlevo za strojem.



Obr. 1-9 Stroj Powerturn 2000 C1



Obr. 1-10 Powerturn 2000 C1 vnitřek stroje

Tabulka 1-3 Technické parametry stroje Powerturn 2000 C1

Rok výroby	2014
Výrobce	TOSHULIN, a.s.
Výrobní číslo	1717
Výkon hlavního motoru	60 [kW]
Celková hmotnost	44000 [kg]
Průměr upínací desky	2000 [mm]
Maximální průměr obrobku	2300 [mm]
Otáčky obráběcí hlavy	-
Otáčky upínací desky	2 ÷ 250 [min <sup>-1</sup> ]

### 1.3.4 SKIQ 8

Tento stroj je určen pro soustružení obrobků v kusové výrobě, malých a středních sériích. Mimo běžného soustružení se na něm může provádět i soustružení kuželových ploch a závitů, broušení, osové vrtání, vystružování. Obrobek se upíná na upínací desku pomocí čtyřčelistového hydraulicko-mechanického upínání. Ozubený věnec s připevněnou upínací deskou je uložen na kuličkových axiálních ložiskách 51184 P5 a 51164 a dvouřadém valivém radiálním ložisku NN 3011 K P51. Stroj je mazaný centrálním mazáním. Ložiska a ozubená kola v převodové skříní a uložení upínací desky mají společné mazací místo



Obr. 1-11 Stroj SKIQ 8

Tabulka 1-4 Technické parametry stroje SKIQ 8

Rok výroby	2007
Výrobce	TOSHULIN, a.s.
Výrobní číslo	1551
Výkon hlavního motoru	40 [kW]
Celková hmotnost	16000 [kg]
Průměr upínací desky	800 [mm]
Maximální průměr obrobku	800 [mm]
Otáčky obráběcí hlavy	-
Otáčky upínací desky	2 ÷ 400 [min <sup>-1</sup> ]

### 1.3.5 SKIQ 12

Tento stroj je určen pro soustružení obrobků v kusové výrobě, malých a středních sériích. Mimo běžného soustružení se na něm může provádět i soustružení kuželových ploch a závitů, broušení, osové vrtání, vystružování. Obrobek se upíná na upínací desku pomocí čtyřčelistového hydraulicko-mechanického upínání. Upínací deska je uložena na speciálním křížovém ložisku 912-304A PSL Povážská Bystrica. Stroj je mazaný centrálním mazáním. Ložiska a ozubená kola v převodové skříni a uložení upínací desky mají společné mazací místo



Obr. 1-12 Stroj SKIQ 12

Tabulka 1-5 Technické parametry stroje SKIQ 12

Rok výroby	2015
Výrobce	TOSHULIN, a.s.
Výrobní číslo	1756
Výkon hlavního motoru	44 [kW]
Celková hmotnost	23000 [kg]
Průměr upínací desky	1250[mm]
Maximální průměr obrobku	1400 [mm]
Otáčky obráběcí hlavy	-
Otáčky upínací desky	2 ÷ 400 [min <sup>-1</sup> ]

## 2 Technická diagnostika

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury (3)

Slovo diagnostika má původ v řeckém slově diagnosis, které se dá přeložit jako rozeznávání nebo určení. Úkol diagnostiky je tedy hlavně určit negativní příznaky u živých či neživých objektů.

Tak jako je úkolem lékařů udržet své pacienty zdravé, případně diagnostikovat nemoc a předepsat léky, je obdobně cílem technických diagnostiků sledovat technický stav daného stroje, určit co nejdříve zvětšující se opotřebení, nebo případnou vznikající vadu a navrhnout její odstranění, tak aby mohl stroj dále vykonávat svou funkci za stanovených podmínek a to i v dlouhodobém časovém horizontu.

### **Hlavní úkoly diagnostiky:**

**Detekce** - zjištění přítomnosti vznikající poruchy

**Lokalizace** - nalezení místa vzniku poruchy nebo nalezení vadné části

**Specifikace** - určení příčiny vzniku poruchy

**Predikce** - určení prognózy zbytkové životnosti a naplánování termínu opravy a dalších logistických úkonů

### **Zavedením technické diagnostiky získáme tyto výhody:**

- Snížení nákladů za opravy včasnou diagnostikou poruchy
- Prodloužení celkové životnosti stroje nebo zařízení
- Zvýšení spolehlivosti stroje nebo zařízení a snížení zmetkovosti
- Snížení mechanických ztrát (teplo, tření) a ušetření nákladů za energie
- Snížení prostojů ve výrobě naplánováním odstávky

## Metody technické diagnostiky:

jedny z nejpoužívanějších metod technické diagnostiky jsou:

**Vibrodiagnostika:** Technický stav vyhodnocujeme analýzou zaznamenaného vibračního signálu. Pro analýzu signálu využíváme rychlost, zrychlení nebo výchylku vibrací.

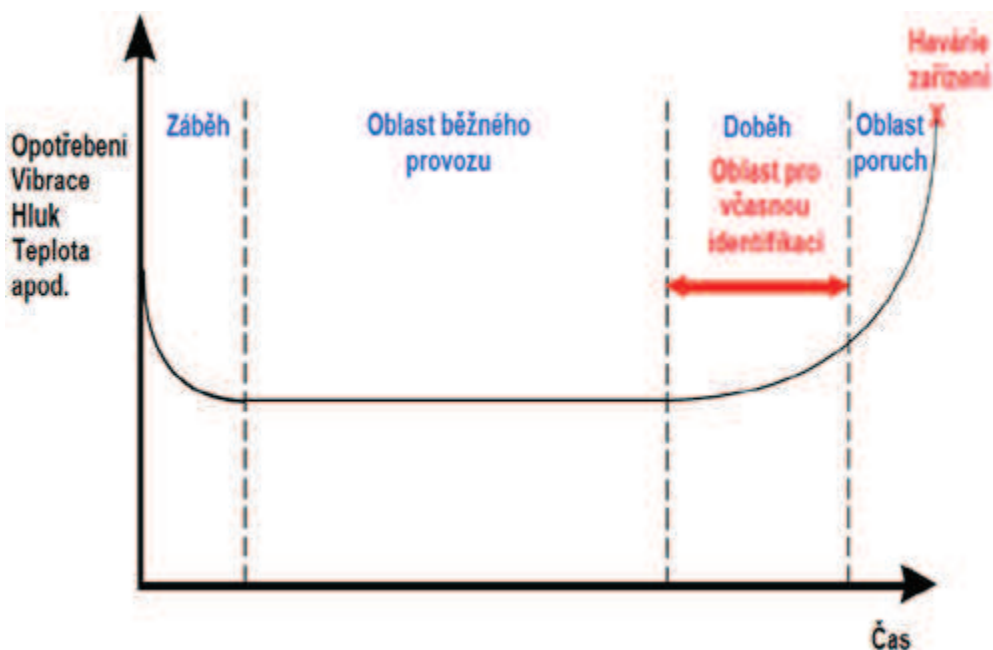
**Tribodiagnostika:** Z informací obsažených v mazivu získáme informace o stavu mazaných strojních součástí i o kvalitě zkoumaného maziva.

**Termodiagnostika:** Zabývá se analýzou teploty a teplotních obrazců, provádí se za pomoci rozličných druhů teploměrů a termo kamer.

**Akustická diagnostika:** Metoda zabývající se analýzou akustického signálu, často je sledováno negativní působení hluku na lidský organismus.

## Vanova křivka:

Vanovou křivkou můžeme charakterizovat průběh opotřebení strojních součástí v závislosti na čase. Na osu Y zavádíme velikost opotřebení nebo jeho projevů a na osu X časový horizont měření. Tato křivka nám ukazuje rychlost vývoje změn ve strojním zařízení a umožňuje nám zhodnotit naléhavost odstávky nebo servisního zásahu.



Obr. 2-1 Vanova křivka (3)

### 3 Vibrodiagnostika

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury (3) a (4)

Vibrodiagnostika je metoda bezdemontážní technické diagnostiky, která vychází z faktu, že rotační části strojů při svém chodu generují vibrace. Vibrační signál můžeme změřit, zanalyzovat, a srovnávat jeho průběh během dosavadního chodu stroje. Analýzou vibračního signálů můžeme zjistit technický stav sledovaného stroje a detekovat poruchy, mezi které patří například nevývaha, opotřebení ozubení nebo opotřebení ložisek a další.

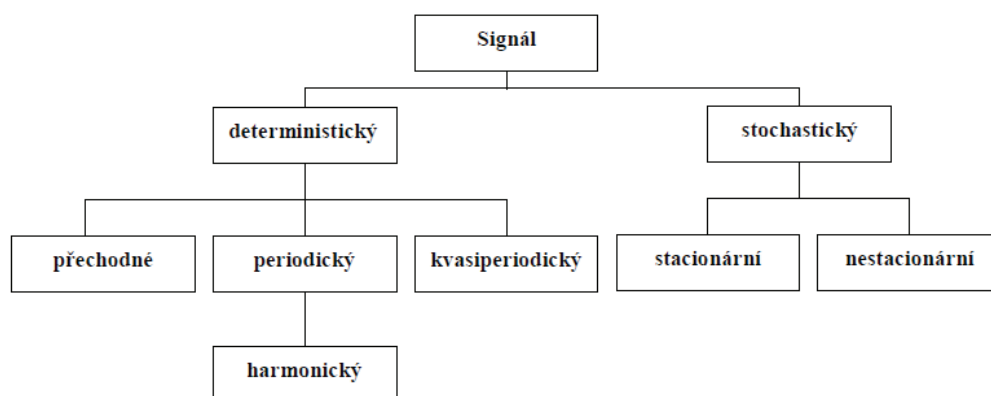
#### 3.1 Signál

Signál je výstupní hodnota při měření vibrací, dá se charakterizovat jako časový průběh některých fyzikálních veličin.

##### **Klasifikace signálů:**

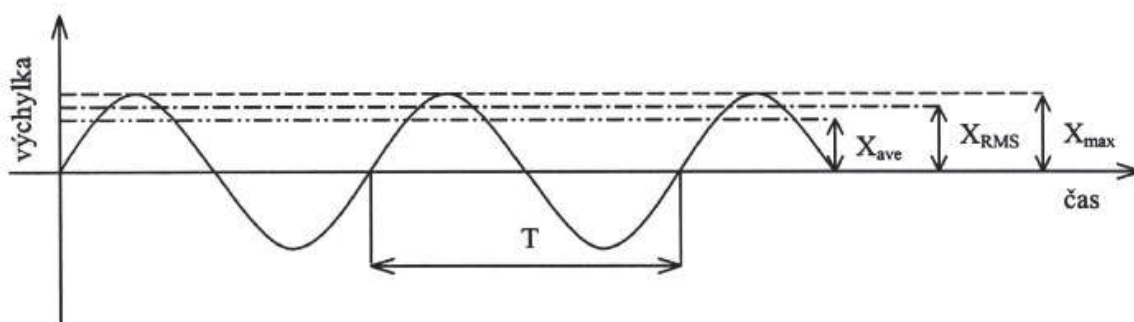
- Deterministický: je to signál, jehož průběh lze předvídat.
- Stochastický: náhodný, má nepředvídatelný průběh.
- Přechodný signál: je časově omezen, například impuls při rázové zkoušce.
- Periodický: je složen z harmonických signálů o frekvencích, která je násobkem základní frekvence.
- Kvasiperiodický: je složen z harmonických signálů s frekvencemi, které jsou násobkem alespoň dvou základních frekvencí s vzájemným poměrem o velikosti rovnou iracionálnímu číslu
- Stacionární a nestacionární: Stacionární signál má ustálený charakter a Nestacionární v čase svůj charakter mění.





Obr. 3-1 Klasifikace signálů podle jejich průběhů (4)

**Základní vztahy pro periodický signál:**



Obr. 3-2 Periodický signál (4)

**Okamžitá výchylka:**  $X = X_{max} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = X_{max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = X_{max} \cdot \sin(\omega t) \quad [mm]$

**Frekvence kmitání:**  $f = \frac{1}{T} \quad [Hz]$

**Úhlová rychlost:**  $\omega = 2\pi \cdot f \quad [rad \cdot s^{-1}]$

**Rychlost:**  $v = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot X_{max} \cdot \cos(\omega t) = V_{max} \cdot \cos(\omega t) = V_{max} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad [mm \cdot s^{-1}]$

**Zrychlení:**  $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \cdot X_{max} \cdot \sin(\omega t) = -A_{max} \cdot \sin(\omega t) = A_{max} \cdot \sin(\omega t + \pi) \quad [mm \cdot s^{-2}]$

**Střední absolutní hodnota výchylky:**  $X_{ave} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt \quad [mm]$

**Střední kvadratická hodnota výchylky:**  $X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt} \quad [mm]$

Pro harmonický pohyb platí:  $X_{RMS} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot X_{ave} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{max} \cong 0,707 \cdot X_{max} \quad [mm]$

### **Některé výrazy používané při měření vibrací:**

RMS – efektivní hodnota, která nám popisuje výkon kmitání

Špička (peak) – Vzdálenost mezi vrcholem amplitudy a nulovou hodnotou signálu

Špička - špička (peak - to - peak) – vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším vrcholem vlny

Průměrná hodnota – Sinusový průběh není ideální, takže je průměrná hodnota nenulová ( $X_{ave} = 0,637 \cdot X_{max}$ )

Celkové vibrace – Hodnota, která udává množství energie obsažené v pásmu mezi dvěma frekvencemi

## **3.2 Snímače vibrací**

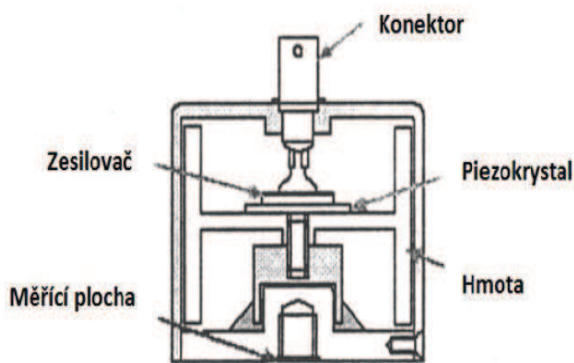
Snímače vibrací zachycují mechanické kmitání a převádí ho na elektrickou veličinu. Existuje mnoho druhů snímačů, které se liší ve svých parametrech jako je frekvenční rozsah, citlivost, přesnost, hmotnost, cena. Každý z typů snímačů se hodí pro použití v různých podmínkách.

### **Existují dva základní typy snímačů:**

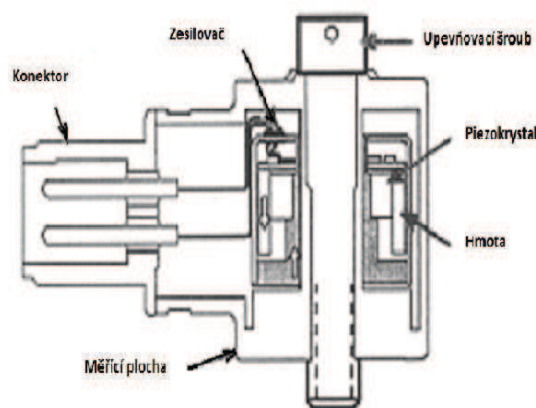
- **Seismická zařízení** – umístí se na konstrukci stroje a zaznamenají míru absolutních vibrací konstrukce.
- **Snímače relativní výchylky** – měří relativní výchylku mezi rotujícími a nerotujícími částmi stroje.

### Rozdělení snímačů podle měřené veličiny:

- **Snímače výchylky** – měří změnu vzdálenosti vůči výchozí poloze, nejstarší typ snímače výchylky fungoval na principu pákového mechanismu, dnes se však už tento typ snímače nepoužívá, dalším typem snímače pro měření výchylky je bezdotyková sonda, které funguje na principu vířivých proudů.
- **Snímače rychlosti** – seismické zařízení, které generuje napětový signál, úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Vychází z faktu, že indukované napětí je závislé na rychlosti změny magnetického pole. Tento snímač se skládá z cívky, ve které se díky pohybujícímu se magnetu indukuje elektrické napětí. Tyto snímače jsou rozměrné a poměrně drahé.
- **Snímače zrychlení (akcelerometry)** – akcelerometry jsou nejpoužívanějším typem snímačů, protože na výstupu dokáží zachytit zrychlení, rychlost i výchylku vibrací. Výhodou těchto snímačů je jednoduchá konstrukce a nižší cena. V akcelerometrech je typicky jeden nebo více piezoelektrických krystalů, při měření působí na krystal síla, a na stěnách krystalu se vytváří elektrický náboj, který je přímo úměrný této síle. Tento signál dále vyhodnocujeme.  
Podle směru působící síly můžeme akcelerometry rozdělit na tlakové, smykové a ohybové.



Obr. 3-3 Tlakový akcelerometr (3)



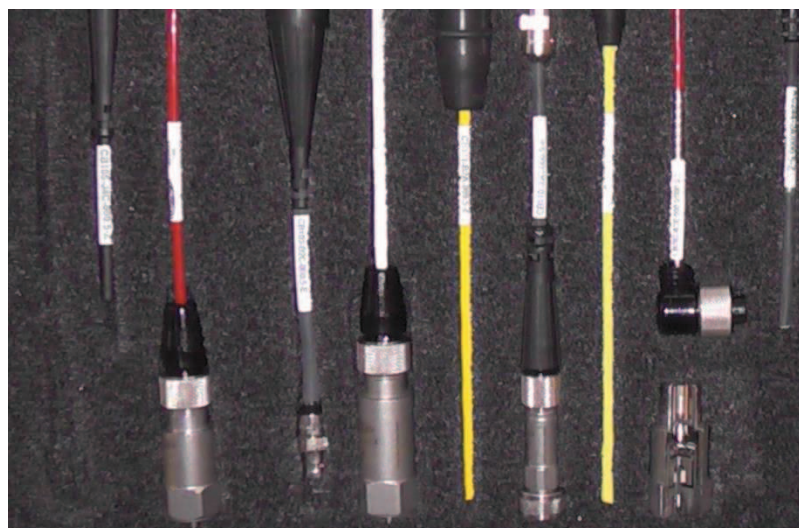
Obr. 3-4 Smykový akcelerometr (3)

### Upevnění snímačů:

Existuje několik způsobů jak připevnit snímač na měřící místo, každý z těchto způsobů má své výhody i nevýhody. Způsob připevnění snímače často ovlivní jeho frekvenční odezvu.

Tabulka 3-1 Vliv připevnění na výkon snímače (4)

Metoda připevnění	Vliv na výkonnost snímače (např. snímače s rezonancí 30 kHz)
Pevný šroubový spoj	Žádné snížení rezonanční frekvence akcelerometru v důsledku připevnění
Izolovaný šroubový spoj	Pokud je pro zabránění vzniku zemních smyček a jiných vlivů použit tuhý nevodivý materiál, jako je podložka ze slídy, montážní rezonanční frekvence je mírně snižena asi na 28 kHz.
Přilepení tuhým lepidlem	Rezonance je snižena asi na 28 kHz
Přilepení měkkým epoxidem	Rezonance je snižena asi na 8 kHz
Připevnění permanentním magnetem	Rezonance je snižena asi na 7 kHz
Ruční sonda se snímačem	Rezonance je snižena asi na 2 kHz, ale tato metoda není doporučena pro měření nad 1kHz.



Obr. 3-5 Příklad několika druhů snímačů (3)

### 3.2.1 Zásady pro umístění snímačů

Pro umístění snímačů platí několik zásad, které musíme dodržet, aby nedošlo ke zkreslení vibrací.

- Snímače se umísťují co nejbližší ke vhodně zvolenému měřicímu místu.
- Snímače se neumísťují na přechodech mezi materiály, ale měříme přímo na konstrukční části, která je v kontaktu s ložiskem, je proto důležité znát vnitřní uspořádání stroje.
- Snímače se neumísťují na znečištěné povrchy, nebo na povrchy se silným nátěrem
- Snímače umísťujeme vždy na stejné místo a měření provádíme za stejných podmínek, tzn. při stejných otáčkách a stejném zatížení.
- Na magnetické snímače se občas uchytí špony, proto je potřeba snímače před měřením očistit.
- Snímače obvykle umísťujeme na měřicí místo ve třech směrech – horizontálním, vertikálním a axiálním.
- Snímače umístěné u rotujících součástí, musí být vzhledem k bezpečnosti v dostatečné vzdálenosti od těchto součástí.

## 4 Tribodiagnostika

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury (3) a (5)

Tribodiagnostika je jednou z metod bezdemontážní technické diagnostiky. Díky této metodě můžeme z maziva určit technický stav maziva i sledovaného stroje. Z maziva jakožto média můžeme získávat informace o mechanických změnách v technických systémech, ve kterých mazivo využito. Úkolem je tedy zjistit přítomnost cizích látek v mazivu a případně vyhodnotit jejich množství, tvar a velikost. Z výsledků provedených zkoušek lze zjistit příznaky začínající příznaky poruchy a mnohdy i lokalizovat místo, kde se porucha vyskytuje.

## **Rozdělení:**

Z hlediska úkolu lze Tribodiagnostiku rozdělit do dvou základních skupin:

### **1) Metody pro zjištění stavu opotřebení strojních částí:**

- Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů:
  - a) Atomová spektrofotometrie
  - b) Atomová emisní spektrofotometrie
  - c) Atomová absorpční spektrofotometrie
  - d) Polarografie a Voltametrie
  - e) Metoda Ramo (rychlá analýza motorových olejů)
- Metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic kovů:
  - a) Ferografie, neboli částicová analýza, s rozdělením:
    - feroskopickým (morfologie a chemické složení)
    - ferodenzimetrickým (distribuce na základě velikosti)

### **2) Metody pro sledování degradace maziva:**

Rozdělení na základě aplikace několika testů:

- Kinematická viskozita
- Bod vzplanutí
- Obsah vody
- Číslo celkové kyselosti a alkality
- Conradsonův karbonizační zbytek
- Kapková zkouška
- Celkové znečištění
- Mechanické nečistoty

#### 4.1 Zásady pro odběr vzorků:

Vzorek oleje má představovat průměrné složení daného oleje v zařízení. Jeho odběr by měl prováděn jednou osobou, která je náležitě proškolená. Stroj musí být před odběrem vzorku minimálně 20 minut v chodu. Nejprve se odebere do čisté nádoby asi 500 ml oleje a ten se kvůli možnému nedokonalému promíchání vylije zpět do nádrže.

Samotný odběr se provádí do čistých a suchých vzorkovnic o obsahu 300 ml, místo odběru by nemělo být ani na dně, ani na hladině nádrže. Do vzorkovnice odebereme 200-250 ml oleje, na vzorkovnici vyznačíme potřebné údaje.

Tabulka 4-1 Příklad údajů označených na vzorkovnici

Název Stroje	
Mazané místo	
Druh maziva	
Datum odběru	
Kdo odebral	
Požadované rozbory	



Obr. 4-1 Vzorkovnice s oleji

#### 4.2 Tribodiagnostické zkoušky použité v této práci

V následujících podkapitolách jsou popsány metody, které jsem při vyhodnocení olejů použil.



#### 4.2.1 Kinematická viskozita

Viskozita je rozhodující vlastností mazacích olejů a charakterizuje vnitřní tření maziva.

Změna viskozity oleje může probíhat dvěma směry:

- **Nárůst viskozity:** Je způsoben hlavně meziprodukty oxidační povahy a zanášení maziva nečistotami. Zvýšení viskozity způsobí vyšší energetické ztráty kvůli vyššímu koeficientu tření.
- **Snížení viskozity:** Je způsobeno především tepelnou a mechanickou degradací aditiv v mazivu. V případě příliš nízké viskozity mazacího oleje dochází k meznímu až suchému tření, jehož následkem je vyšší opotřebení třecích ploch.

##### Měření viskozity pomocí kapilárního viskozimetru:

Spodní baňku viskozimetru jsem naplnil protřepaným olejem tak aby byla hladina oleje mezi ryskami. Dále jsem olej nechal při teplotě 40 °C temperovat v lázni po dobu 30 minut. Po uplynutí tohoto času jsem z kapiláry odsával vzduch, a když olej vystoupal dostatečně nad rysku, která je nad horní baňkou viskozimetru odsávání jsem ukončil. Poté co hladina oleje klesla na tuto horní rysku, spustil jsem stopky. Pak jsem počkal, až hladina klesne na rysku pod horní baňkou a v ten moment jsem zastavil stopky. Naměřený čas jsem použil k výpočtu viskozity dle vzorce:  $\nu = c \cdot \tau$  [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Kde:  $c$  – konstanta viskozimetru

$\tau$  – doba průtoku oleje viskozimetrem



Obr. 4-2 Kapilární viskozimetr

#### 4.2.2 Obsah vody

K zjištění přítomnosti vody nebo její koncentrace se používá mnoho zkoušek od protřepání oleje a vizuálním zhodnocení oleje, prskací zkoušku až po destilační nebo Coulometrickou zkoušku, kterou jsem v tomto měření použil.

Přítomnost vody v hydraulickém nebo mazacím oleji je nežádoucí a to z několika důvodů:

- Voda podporuje korozi mazaných součástí
- Zhoršuje vlastnosti aditiv
- Způsobuje pění a tvorbu emulzí v olejích
- Zvyšuje viskozitu oleje
- Snižuje oxidační stabilitu oleje.

Povolené množství oleje závisí na typu oleje a druhu použití. Obecně by ale množství vody v oleji nemělo překročit 0,2 % hmotnostního obsahu vody.

##### **Coulometrická zkouška:**

Metoda je podle Německého chemika Karla Fischera a je definována normou ČSN 65 0330. Tato metoda je vhodná pro stanovení stopového množství vody v oleji.

Nejprve jsem odebral protřepaný vzorek oleje injekční stříkačkou a tu jsem zvážil. Poté co byl přístroj připraven, jsem aplikoval vzorek do nádobky v pícce, a spustil jsem vyhodnocování. Voda poté v titrační nádobce reagovala s jódem  $J_2$ , který se uvolňoval průchodem elektrického proudu. Množství jódu, nutné k reakci s vodou a k tomu potřebné množství náboje, určí koncentraci vody v oleji. Po dokončení vyhodnocování a zadání navážky z displeje odečtem koncentraci vody v daném vzorku oleje. Toto měření jsem provedl 2x ke každému vzorku a výslednou hodnotu jsem zprůměroval.



Obr. 4-3 Coulometr

### 4.2.3 Číslo kyselosti

Změna kyselosti často souvisí se stárnutím a degradací oleje. Zvýšené číslo kyselosti způsobuje vyšší korozivnost oleje. V průběhu provozní degradace oleje v něm vznikají organické kyseliny, u olejů k mazání spalovacích motorů vznikají i minerální kyseliny, jako produkty spalování.

#### **Měření TAN (celkové číslo kyselosti):**

Tato metoda založená na titraci kyselých sloučenin obsažených ve vzorku oleje v alkoholickém roztoku hydroxidu draselného (KOH). Aplikoval jsem přibližně 1 gram protřepaného vzorku oleje, množství aplikovaného oleje jsem zvažil. Sledujeme množství spotřebovaného KOH (v miligramech) k neutralizaci všech kyselých složek ve vzorku oleje. Titrační Coulometr je připojen k pc pro zjištění kyselosti je potřeba zadat hmotnost navážky v gramech. Program vyhodnotí celkové číslo kyselosti v mgKOH/g. Toto měření jsem provedl 3x ke každému vzorku a výslednou hodnotu jsem zprůměroval.



Obr. 4-4 Coulometr

#### 4.2.4 Rentgenová spektrometrie

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury (6) a (7)

Spektrometrie vzorků byla provedena za pomoci rentgenového spektrometru SPECTRO XEPOS. Tento přístroj používá energo dispersní rentgenovou fluorescenční technologii (ED-XRF), tato technologie umožňuje jednu z nejjednodušších, nejpřesnějších a vysoce ekonomických analytických metod k určení přesného chemického složení vzorků. Tento přístroj je schopný detekovat celou řadu chemických prvků – v periodické tabulce od sodíku (11) až po uran (92).

Do přístroje se vloží malý vzorek protřepaného oleje. Atomy vzorku jsou vybuzeny rentgenovým RTG zářením, vyzařovaným z rentgenové lampy. Všechny prvky specifických RTG fluorescenčních signálů, emitovaných atomy po fotoelektrické ionizaci jsou současně měřeny v pevném polovodičovém detektoru nebo plynotěsném proporcionálním čítači. Intenzity radiace každého signálu prvků, které jsou úměrné ke koncentraci prvku ve vzorku, se interně přepočítají pomocí uložené sady kalibračních křivek a můžou se zobrazit v jednotkách koncentrace.



Obr. 4-5 Rentgenový spektrometr SCPECTRO XEPOS

#### 4.2.5 Gravimetrie

Gravimetrické filtry jsou vysušovány a váženy, dokud není rozdíl hmotnosti filtru v po sobě jdoucím vážení menší než 4 desetiny miligramu [mg]. Filtr se vloží do přístroje a přes trychtýř přelijeme filtrem 25 [ml] protřepaného vzorku oleje, smíchaného s technickým benzínem v poměru přibližně 1:4. S pomocí čerpadla vzorek přejde přes filtr, který poté vyjmeme a vložíme do nádoby k tomu určené a dáme ho vysušit v peci. Dále znova provádíme vážení a vysoušení, dokud není rozdíl hmotnosti filtru v po sobě jdoucím vážení menší než 4 desetiny [mg].

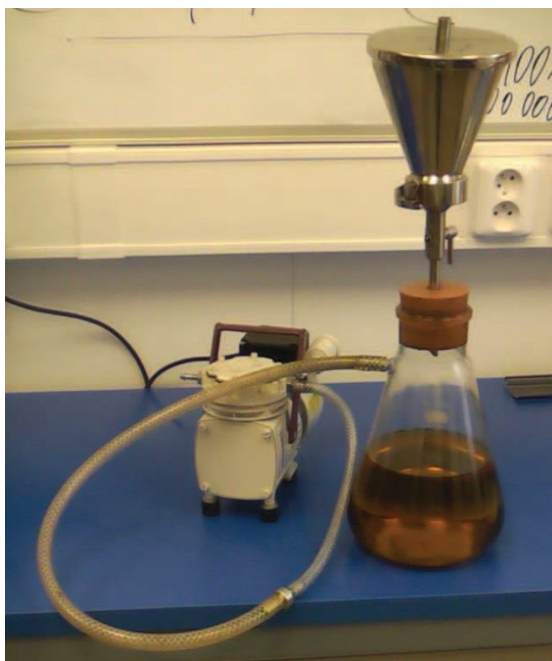
Množství nečistot v [mg] ve 100 [ml] vzorku získáme dosazením do vzorce:

$$\left( \frac{m_{fo} - m_f}{25} \cdot 100 \right) \cdot 1000$$

Kde:

$m_{fo}$  - hmotnost filtru s přefiltrovaným olejem [g].

$m_f$  - hmotnost čistého filtru [g].



Obr. 4-6 Gravimetrické zařízení

#### 4.2.6 Kód čistoty

Při této zkoušce se zjišťuje počet pevných částic v oleji a jejich velikost. Tato zkouška probíhá tak, že je s pomocí mikroskopu pořízeno 30 snímků filtrů, přes které protékal daný vzorek oleje. Poté proběhne vizuální vyhodnocení za pomoci softwaru Lambdasoft 2007 od společnosti Diram s.r.o.

Vyhodnocení proběhlo dle normy ČSN ISO 4406.

Touto normou je definován počet částic v 1 [ml] oleje. Kód obsahuje tři čísla např. 19/18/15, kde:

1. číslo reprezentuje počet částic větších než 4 [ $\mu\text{m}$ ]
2. číslo reprezentuje počet částic větších než 6 [ $\mu\text{m}$ ]
3. číslo reprezentuje počet částic větších než 14 [ $\mu\text{m}$ ]



Obr. 4-7 Mikroskop



#### 4.2.7 Spektrální analýza

Jedná se o nedestruktivní optickou analytickou metodu, která využívá infračervenou spektrometrii pro spektrální analýzu olejů. Při měření probíhá interakce infračerveného záření s molekulami, nebo skupinami molekul daných látek ve zkoušené kapalině, což způsobuje jejich vybuzení na vyšší vibrační hladiny. Tím se pohltí záření s určitými hodnotami energie a ve spektru vznikají tzv. vibrační absorpční pásy, s jejichž pomocí můžeme identifikovat většinu sloučenin.

V dnešní době se často používá metoda spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR). Tato metoda má řadu výhod a to vysokou citlivost, vysokou průchodnost energie a vysoký poměr signálu k šumu.



Obr. 4-8 Infračervený spektrometr



## 5 Aplikace technické diagnostiky na měřených strojích

### 5.1 Aplikace Vibrodiagnostiky:

Měření vibrací u obráběcích CNC center má svá specifika, tyto stroje jsou konstrukčně složité se špatným přístupem k některým měřicím místům, proto jsem provedl u každého z těchto strojů měření pouze na jednom měřicím místě a to buď v místě uložení vřetene, pokud jím stroj disponuje, nebo v místě uložení rotujícího upínacího stolu.

Kvůli konstrukčnímu a bezpečnostnímu hledisku, musí být obráběcí místnost během chodu zcela uzavřena, proto jsem musel analyzátor vibrací nechat během měření uzavřený uvnitř stroje. Aby nedošlo k poškození přístroje šponami, bylo nutné provádět měření bez zátěže.

Před měřením jsem umístil na měřicí místa tři magnetické snímače vibrací a to ve vertikálním, horizontálním a axiálním směru. Při 1. měření jsem požádal obsluhu strojů o nastavení maximálních otáček a při dalších měřeních byla rychlost otáček dodržena. 2. a 3. měření jsem musel provést pouze s dvěma snímači, jelikož byl snímač na druhém kanálu poškozený, provedl jsem tedy měření navíc, kdy jsem změnil umístění axiálního snímače na horizontální směr.

#### 5.1.1 Analýza vibrací

Pro měření vibrací byl použit přístroj A4410 VA4 Pro od společnosti Adash.



Obr. 5-1 Analyzátor vibrací Adash A4410 VA4 Pro (8)

Záznamy vibrací byly zanalyzovány na počítači s pomocí programu A4410 Virtual Unit.



Obr. 5-2 Program A4410 Virtual Unit

### Mezní hodnoty vibrací:

Tabulka 5-1 Mezní hodnoty kmitání pro obráběcí centra se svislou osou pro rotační obrobky, dle normy ČSN 200065

Největší průměr obrobku [mm]	Do 3000	Nad 3000
Mezní hodnoty rychlosti vibrací [mm/s]	1,8	2,8

Hodnoty rychlosti vibrací, které překračují mezní hodnotu 1,8 mm/s, která platí u všech měřených strojů, jelikož mají nejvyšší průměr obrobku nižší než 3000 mm, jsou označeny červeně. Hodnoty vyšší než 1,5 mm/s jsou vyznačeny žlutě jako výstraha.

Mezní hodnoty zrychlení vibrací jsou u každého stroje určeny podle otáček a jsou uvedeny v podkapitolách, které se věnují aplikaci vibrodiagnostiky na konkrétních strojích.

## 5.2 Aplikace tribodiagnostiky

U diagnostikovaných obráběcích center z TOS Hulín (Powerturn, SKIQ 8 a SKIQ 12) mají dle technických listů ložiska a ozubená kola v převodové skříní a uložení upínací desky společné mazací místo, Odběr vzorků byl proveden z těchto mazacích míst. Některé stroje disponují i rotující obráběcí hlavou (vřetenem), ložiska obráběcích hlav jsou mazány permanentně mazacím tukem, jehož vzorek jsem z technických důvodů neodebíral. Stejně tak jsem z důvodu neznalosti konstrukce mazacích neodebral mazací olej u stroje SHW Unispeed 5. O výměnách olejů bohužel Armatury Group nevede žádné záznamy, ale podle informací z údržby není žádný s olejů starší než dva roky.

Dne 17. 3. 2016 bylo odebráno celkem 6 vzorků olejů. 4 vzorky použitého mazacího oleje přímo z daných mazacích míst a 2 vzorky referenčních olejů. Vzorky oleje byli analyzovány v laboratoři tribodiagnostiky.

### 5.2.1 Zkoumané oleje

**OH HM 46** – tento olej se používá k mazání strojů Powerturn 2000 C1, SKIQ 12 a SKIQ 8, místo tohoto oleje se může k mazání použít i olej MOGUL GLISON 46, doporučený v technické literatuře k těmto strojům.

Tabulka 5-2 Parametry oleje podle výrobce:

Hustota při 15 °C	870 Kg/m <sup>3</sup>
Viskozita při 40 °C	46 mm <sup>2</sup> /s
Bod vzplanutí	220 °C
Bod tuhnutí	-27 °C

#### **Množství oleje v nádrži:**

Powerturn 2000 C1: 230 [l]

SKIQ 12: 250 [l]

SKIQ 8: 95 [l]

**Divinol Hydrauliköl DHG 46** – tento olej se používá k mazání stolu stroje Hermle C60.

Tabulka 5-3 Parametry oleje podle výrobce:

Hustota při 15 °C	870 Kg/m <sup>3</sup>
Viskozita při 100 °C	6,9 mm <sup>2</sup> /s
Viskozita při 40 °C	46 mm <sup>2</sup> /s
Viskozitní index	114
Bod vzplanutí	210 °C
Bod tuhnutí	-30 °C
Obsah vody	< 0,05 %

### 5.3 Aplikace technické diagnostiky na stroji Hermle C60

#### 5.3.1 Vibrodiagnostika



Obr. 5-3 Umístění snímačů v místě obráběcí hlavy

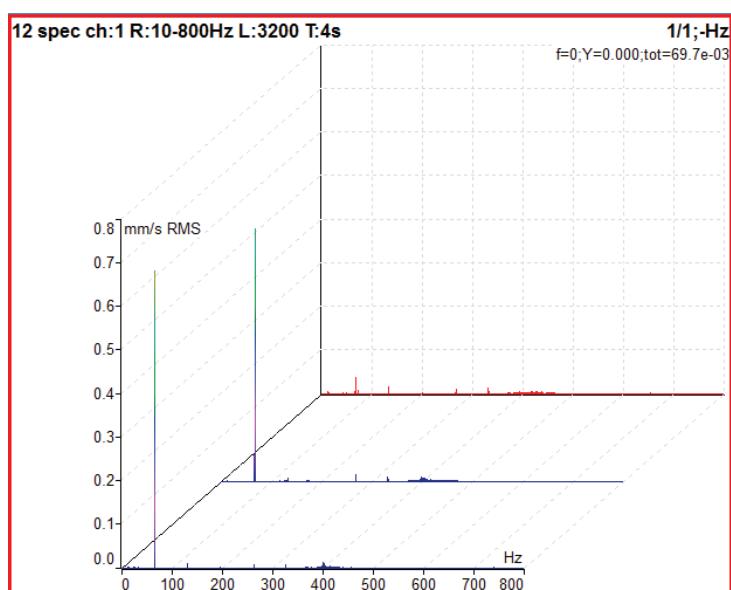
Tabulka 5-4 Mezní hodnoty zrychlení vibrací **a<sub>rms</sub>** [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám

Výstraha	>1,5
Nedoporučuje se trvale provozovat	>3

Tabulka 5-5 Naměřené hodnoty vibrací

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Datum měření		1. 12. 2015	5. 2. 2016	15. 3. 2016
Měřicí místo		L1	L1	L1
Veličina	Směr			
Max. ot/min		4000 (66,667 Hz)	4000 (66,667 Hz)	4000 (66,667 Hz)
$v_{RMS}$ [mm/s]	V	0,72	0,63	0,11
	H	0,40	0,16	0,09
	A	0,99	0,41	0,08
$a_{RMS}$ [g]	V	0,31	0,37	0,36
	H	0,27	0,38	0,35
	A	0,26	0,21	0,33
Pozn.		bez zátěže s nástrojem	bez zátěže s nástrojem	bez zátěže bez nástroje

První 2 měření proběhla s upnutou frézovací hlavou, 3. měření proběhlo bez upnutého nástroje, kdy rychlost vibrací výrazně poklesla, což mohlo být způsobeno nedokonalým upnutím, nebo nevyvážeností samotného nástroje při předchozích měřeních. Hodnoty vibrací neukazují žádné zásadní poškození.



Obr. 5-4 Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru, první je měření vpředu, druhé uprostřed a vzadu je poslední měření. Je zde vidět otáčková složka bez velkých násobků.

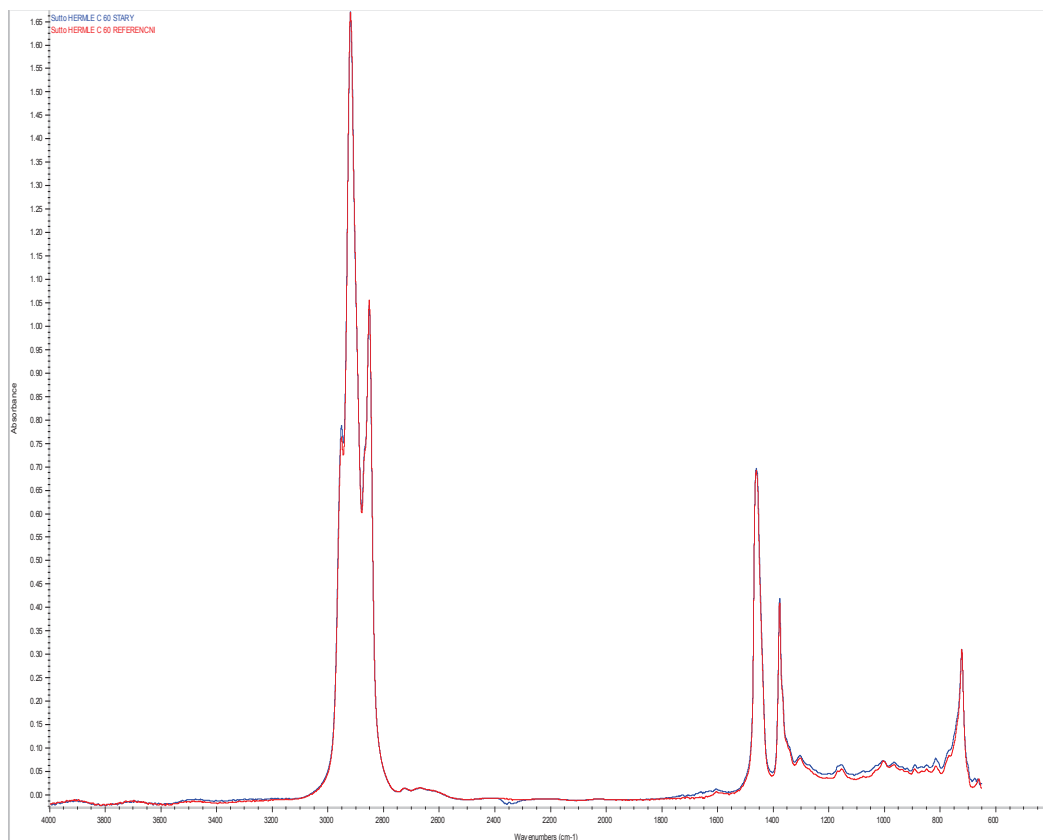
### 5.3.2 Tribodiagnostika

Tabulka 5-6 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – stroj Hermle C60

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota	Referenční
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	40		50	41,816	43,313
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,526	0,545
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0.05	0.03	0,0033
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		100	150	106,8	117,6
Kód čistoty		ČSN ISO 4406				18/18/-	18/18/-
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	Hodnota	Referenční
obsah Fe	ppm	metodika		60	80	8,9	<1
obsah Cu	(mg/kg)			30	40	3,1	2,8
obsah Cr				12.5	15	8,4	9,2
obsah Sn				15	20	<3	<3
obsah Si				20	30	<5,1	<5,1
Aditiva, degradace						Hodnota	Referenční
obsah S	ppm	metodika				4638	3275
obsah P	(mg/kg)					576,6	708,4
obsah Mg						<101	<101
obsah Mo						<1	<1
obsah Na						1076	1279
obsah Zn						485,8	569,4
obsah Ca						<10	<10

Zkoušený vzorek obsahuje zvýšené množství mechanických nečistot, stejný problém má však i referenční vzorek, může se jednat o výrobní chybu, takže z toho nebudu nic vyvozovat. Zkoušený vzorek použitého oleje obsahuje asi 10x více vody než referenční vzorek, nicméně hodnota je stále v normě.



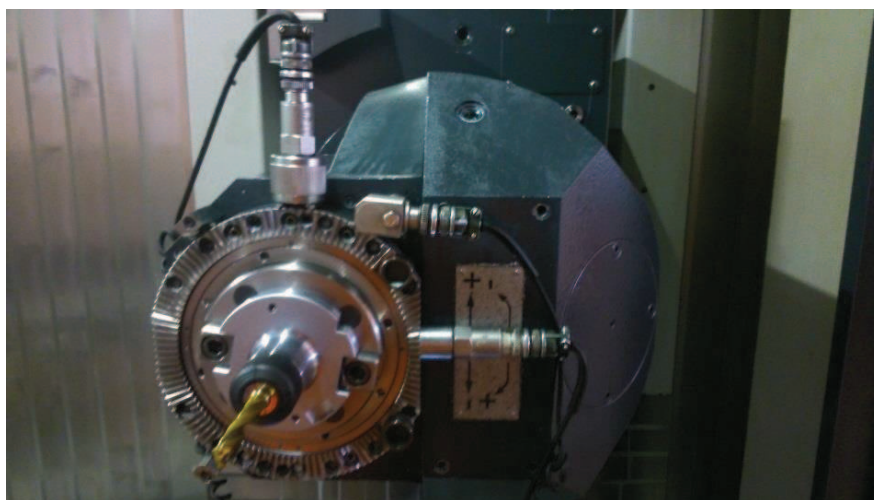


Obr. 5-5 Spektrální analýza, srovnání starého a referenčního oleje

FT-IR ukazuje, že vzorek HERMLE C60 je kontaminován nitrací a také došlo k drobným úbytkům aditiv. Je také možné, že byl olej smíchán s nějakým typem esteru.

## 5.4 Aplikace technické diagnostiky na stroji SHW UniSpeed 5

### 5.4.1 Vibrodiagnostika



Obr. 5-6 Umístění snímačů v místě obráběcí hlavy

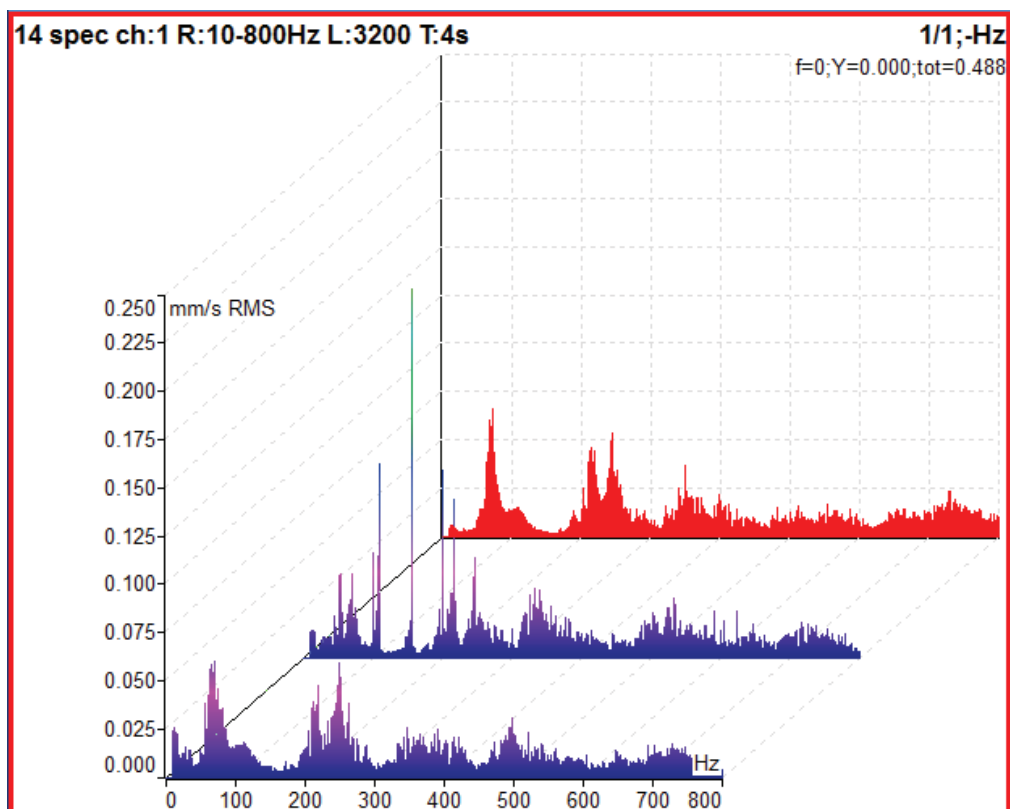
Tabulka 5-7 Mezní hodnoty zrychlení vibrací  $a_{RMS}$  [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám

Výstraha	>1,5
Nedoporučuje se trvale provozovat	>3

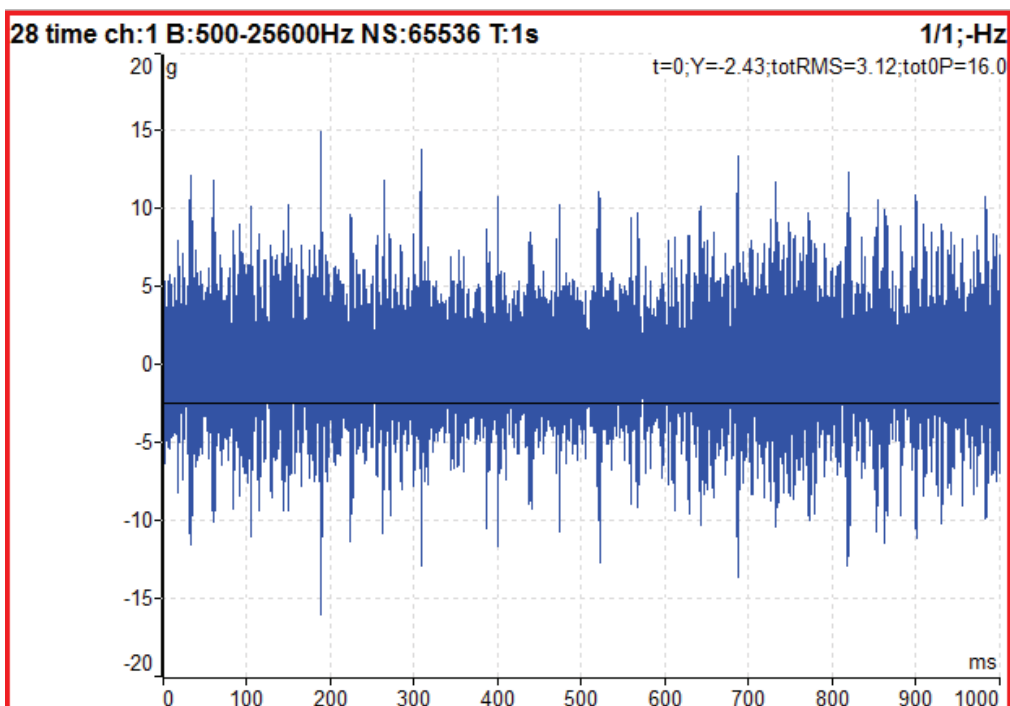
Tabulka 5-8 Naměřené hodnoty vibrací

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Datum měření		1. 12. 2015	5. 2. 2016	15. 3. 2016
Měřicí místo		L1	L1	L1
Veličina	Směr			
Max. ot/min		6000 (100 Hz)	6000 (100 Hz)	6000 (100 Hz)
$v_{RMS}$ [mm/s]	V	0,55	0,54	0,57
	H	0,82	0,88	0,86
	A	0,42	0,48	0,46
$a_{RMS}$ [g]	V	4,02	3,29	2,17
	H	2,48	2,53	1,98
	A	1,73	2,18	1,53
Pozn.		bez zátěže s nástrojem	bez zátěže s nástrojem	bez zátěže bez nástroje

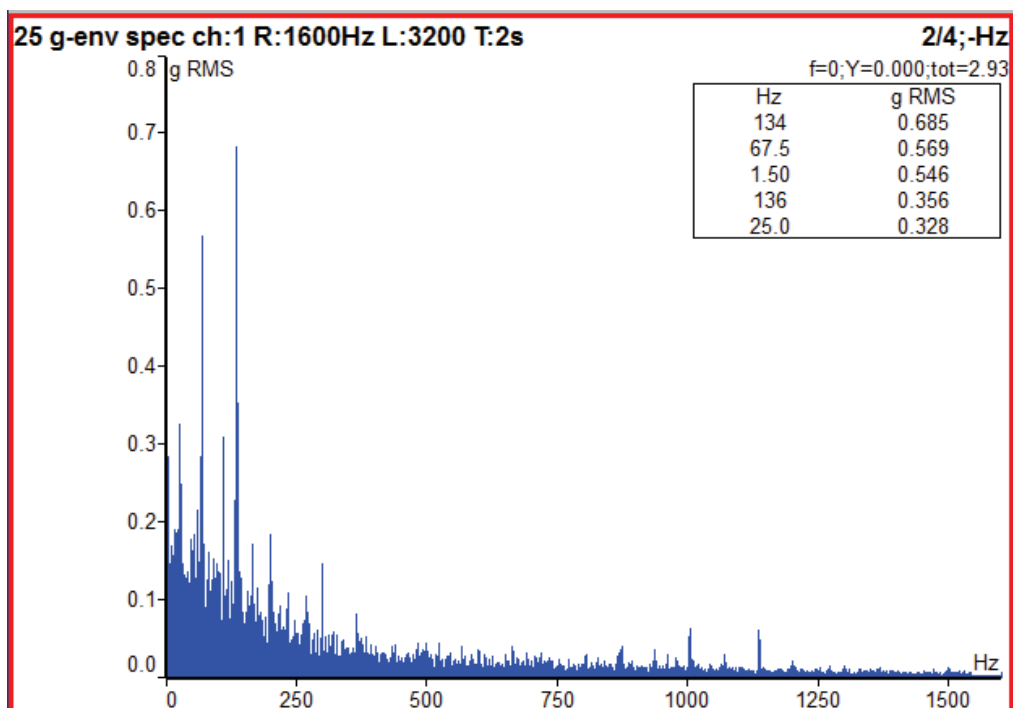
Na tomto jsem naměřil vysoké hodnoty zrychlení vibrací, které však během časového horizontu překvapivě klesaly, což mohla ovlivnit absence upnutého nástroje při třetím měření. Je zde však možnost poškození některého z ložisek vřetena. Doporučil bych provést další měření, případně sledovat drsnost obráběných povrchů, pokud je zhoršená, doporučuji výměnu ložiska.



Obr. 5-7 Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru, (první měření je vpředu, poslední vzadu)



Obr. 5-8 Časový záznam zrychlení vibrací ve vertikálním směru, první měření, kde byly hodnoty nejhorší



Obr. 5-9 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací, vertikální směr, 1. měření.

## 5.5 Aplikace technické diagnostiky na stroji Powerturn 2000 C1

### 5.5.1 Vibrodiagnostika



Obr. 5-10 Umístění snímačů pod upínacím stolem

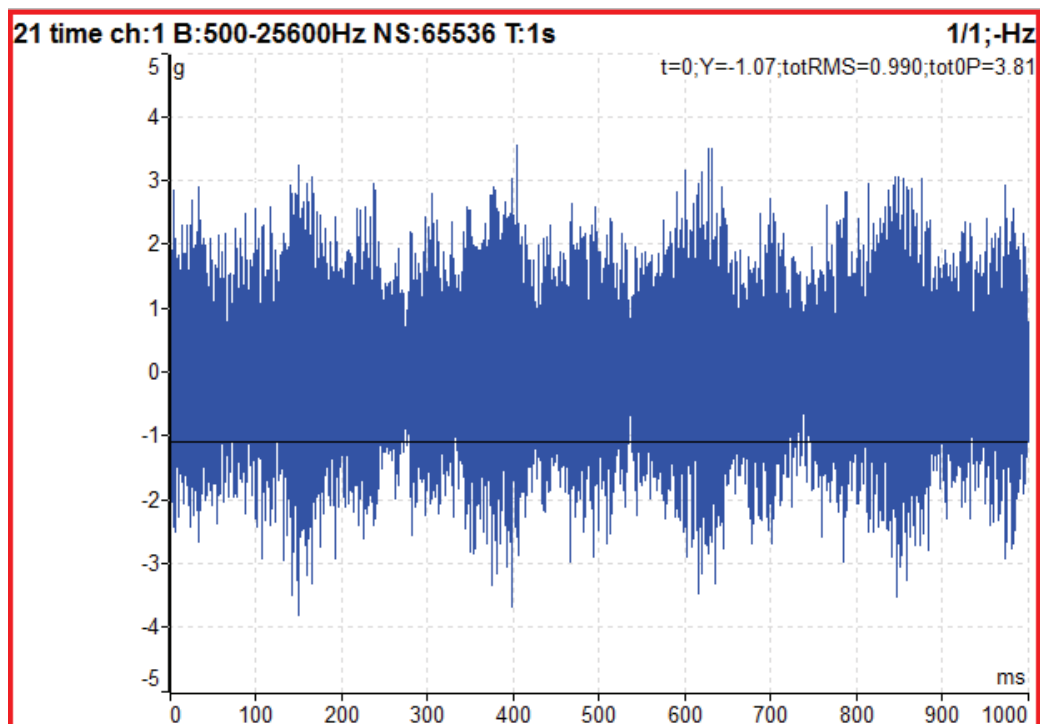
Tabulka 5-9 Mezní hodnoty zrychlení vibrací  $a_{RMS}$  [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám

Výstraha	>0,8
Nedoporučuje se trvale provozovat	>1,2

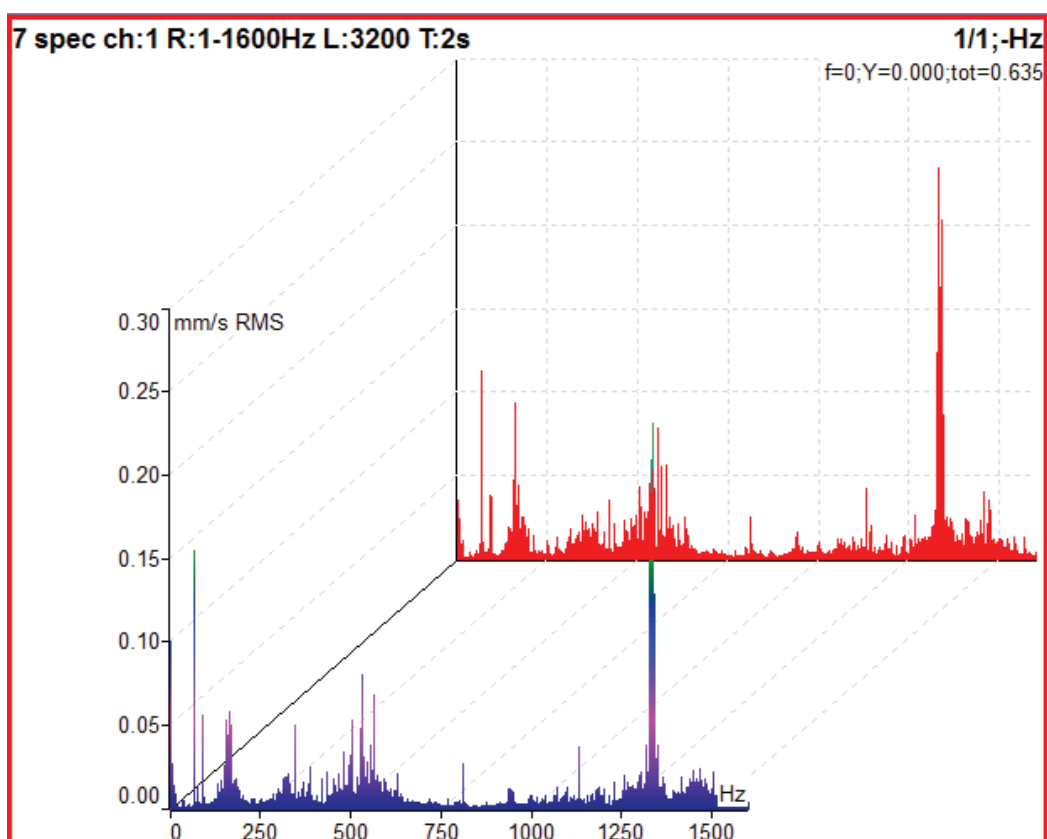
Tabulka 5-10 Naměřené hodnoty vibrací

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 1-1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Datum měření		1. 12. 2015	5. 2. 2016	15. 3. 2016
Měřicí místo		L1	L1	L1
Veličina	Směr			
Max. ot/min		50 (0,833 Hz)	249 (4,15 Hz)	249 (4,15 Hz)
$v_{RMS}$ [mm/s]	V	0,12	0,38	0,38
	H	0,11	0,33	0,34
	A	0,13	0,40	0,26
$a_{RMS}$ [g]	V	0,08	0,97	0,98
	H	0,03	0,67	0,76
	A	0,04	0,23	0,55
Pozn.		bez zátěže s upnutým dílcem	bez zátěže	bez zátěže

Hodnoty rychlosti vibrací na tomto stroji jsou v pořádku, hodnoty zrychlení ve vertikálním směru zaznamenané při 2. a 3. měření jsou mírně zvýšené. Z 1. měření, kdy jsem kvůli upnutému dílci musel měřit vibrace upínacího stolu při rychlosti 50 ot/min<sup>-1</sup> se kvůli velmi nízkým hodnotám nedá nic vyvozovat. Dále je vidět že velikost zrychlení vibrací celkově mírně rostla. Hodnoty mohou znamenat například začínající pitting ložiska upínacího stolu. Doporučil bych tento stroj dále sledovat.



Obr. 5-11 Časový záznam zrychlení vibrací při 2. měření ve vertikálním směru



Obr. 5-12 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací ve vertikálním směru 2. a 3. měření. (2. měření je vpředu, 3. vzadu)

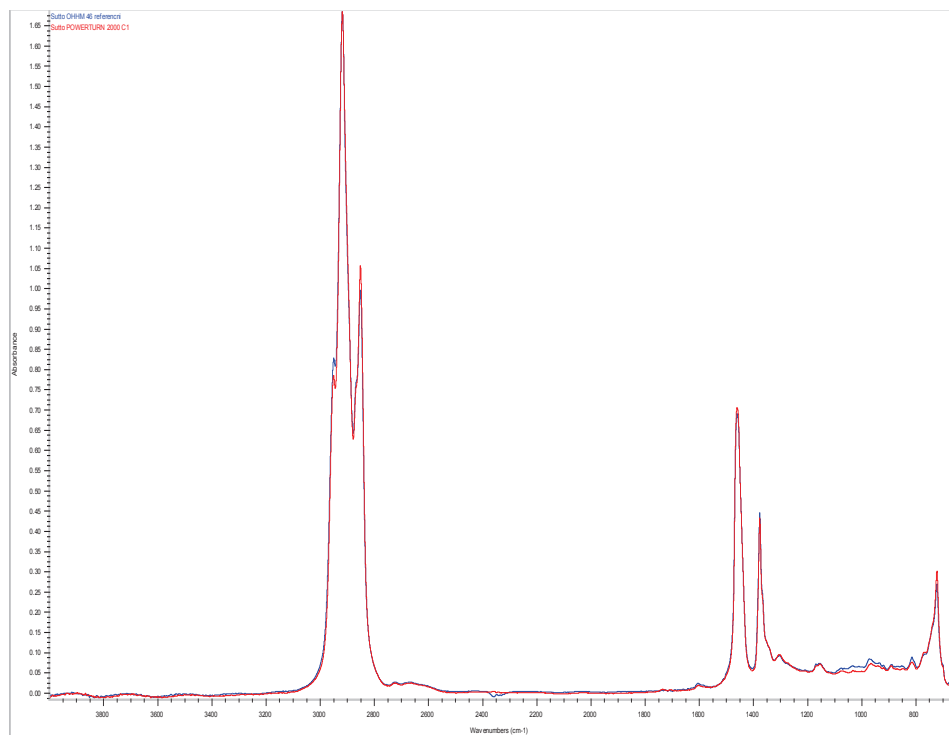


## 5.5.2 Tribodiagnostika

Tabulka 5-11 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – stroj Powerturn 2000 C1

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota	Referenční
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	40		50	65,135	44,755
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1.3	0,134	0,093
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0.05	0,0023	0,002
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		100	150	182	92,8
Kód čistoty		ČSN ISO 4406(2006)				20/19/16	17/15/13
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	Hodnota	Referenční
obsah Fe	ppm	metodika		60	80	11,5	< 1,0
obsah Cu	(mg/kg)			30	40	5,5	2,2
obsah Cr				12.5	15	8	7,2
obsah Sn				15	20	<3	<3
obsah Si				20	30	<5,1	<5,1
Aditiva, degradace						Hodnota	Referenční
obsah S	ppm	metodika				7236	2665
obsah P	(mg/kg)					108,5	179,1
obsah Mg						<101	<101
obsah Mo						<1	<1
obsah Na						<1005	1224
obsah Zn						23,9	171,7
obsah Ca						<10	31,9

Vzorek sterého oleje má zvýšenou viskozitu proti referenčnímu oleji, což se může negativně projevit ve vyšších mechanických ztrátách. Zvýšená viskozita by mohla souviset s vyšším počtem mechanických nečistot v oleji. Ve vzorku sterého oleje je rovněž mnohem vyšší koncentrace síry a je zde úbytek aditiv, jako je fosfor, sodík, zinek a vápník. Doporučil bych proto výměnu oleje.



Obr. 5-13 Spektrální analýza, srovnání starého a referenčního oleje

Spektrální analýza potvrzuje změny v pásmu aditiv.

## 5.6 Aplikace technické diagnostiky na stroji SKIQ 8

### 5.6.1 Vibrodiagnostika



Obr. 5-14 Umístění snímačů pod upínacím stolem

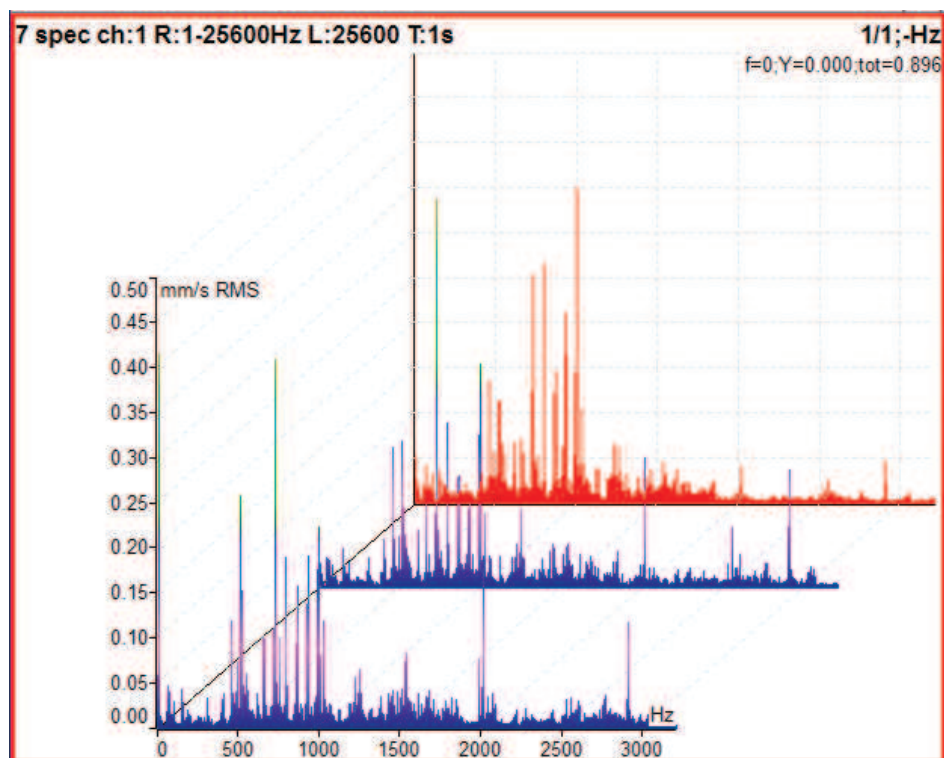
Tabulka 5-12 Mezní hodnoty zrychlení vibrací  $a_{RMS}$  [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám

Výstraha	>0,9
Nedoporučuje se trvale provozovat	>1,5

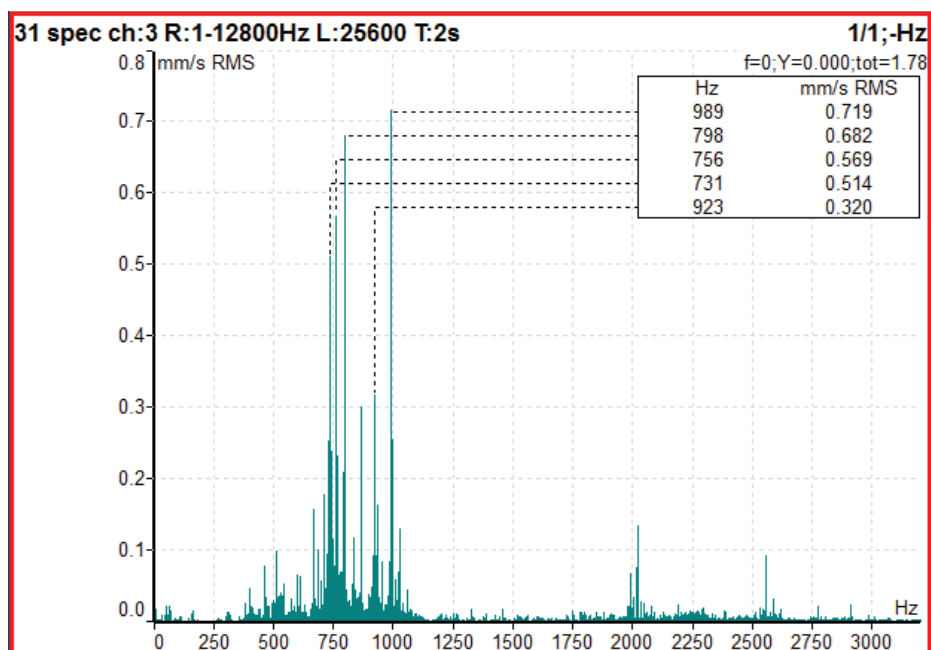
Tabulka 5-13 Naměřené hodnoty vibrací

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 1-1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Datum měření		1. 12. 2015	5. 2. 2016	15. 3. 2016
Měřicí místo		L1	L1	L1
Veličina	Směr			
Max. ot/min		400 (6,667 Hz)	400 (6,667 Hz)	400 (6,667 Hz)
$v_{RMS}$ [mm/s]	V	0,92	0,69	0,73
	H	1,12	1,14	1,20
	A	1,18	1,63	1,01
$a_{RMS}$ [g]	V	0,82	0,73	0,55
	H	0,79	0,93	0,87
	A	0,66	0,95	0,54
Pozn.		bez zátěže	bez zátěže	bez zátěže

Můžeme zde vidět zvýšené zrychlení vibrací při druhém měření a dále zvýšená hodnota rychlosti vibrací v axiálním směru při stejném měření. Zvýšená velikost vibrací by mohla znamenat začínající opotřebení některého z ložisek uložení upínací desky, popřípadě opotřebení ozubeného kola v převodové skříní.



Obr. 5-15 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací, vertikální směr (1. měření vpředu 2. uprostřed a 3. vzadu)



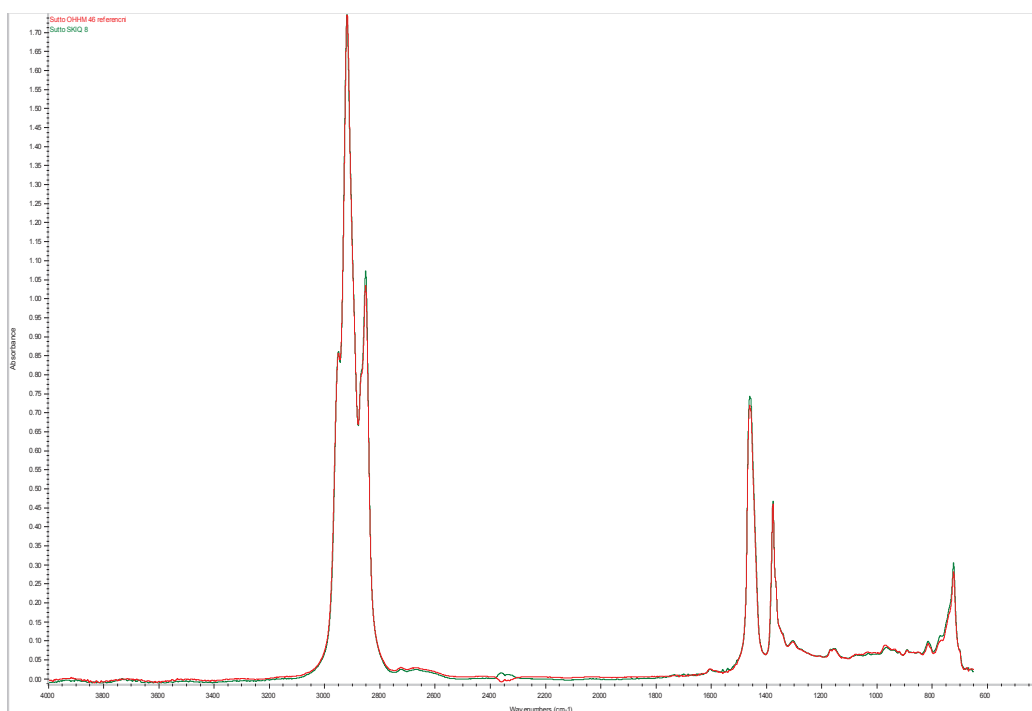
Obr. 5-16 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací, axiální směr, 2. měření  
Hodnoty zde nejsou násobkem otáčkové frekvence, mohou odpovídat projevům ložiska

## 5.6.2 Tribodiagnostika

Tabulka 5-14 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – stroj SKIQ 8

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota	Referenční
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	40		50	46,953	44,755
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,246	0,093
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0.05	0,0061	0,002
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		100	150	32,8	92,8
Kód čistoty		ČSN ISO 4406				19/18/15	17/15/13
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	Hodnota	Referenční
obsah Fe	ppm	metodika		60	80	109	< 1,0
obsah Cu	(mg/kg)			30	40	14,9	2,2
obsah Cr				12.5	15	12,6	7,2
obsah Sn				15	20	<3	<3
obsah Si				20	30	<5,1	<5,1
Aditiva, degradace						Hodnota	Referenční
obsah S	ppm	metodika				11460	2665
obsah P	(mg/kg)					201,7	179,1
obsah Mg						<101	<101
obsah Mo						<1	<1
obsah Na						< 1005	1224
obsah Zn						82	171,7
obsah Ca						< 10	31,9

Z tribodiagnostických zkoušek vyplývá, že je ve zkoušeném vzorku oleje mírně zvýšený obsah chromu a především vysoký obsah železa. Pravděpodobně to znamená kombinaci jak začínajícího opotřebení některého ložiska i ozubení. Dále se změnilo množství některých aditiv.



Obr. 5-17 Spektrální analýza, srovnání starého a referenčního oleje

Spektrální analýza neukazuje žádné výrazné změny při porovnání starého a referenčního oleje.

## 5.7 Aplikace technické diagnostiky na stroji SKIQ 12

### 5.7.1 Vibrodiagnostika



Obr. 5-18 Umístění snímačů pod upínacím stolem



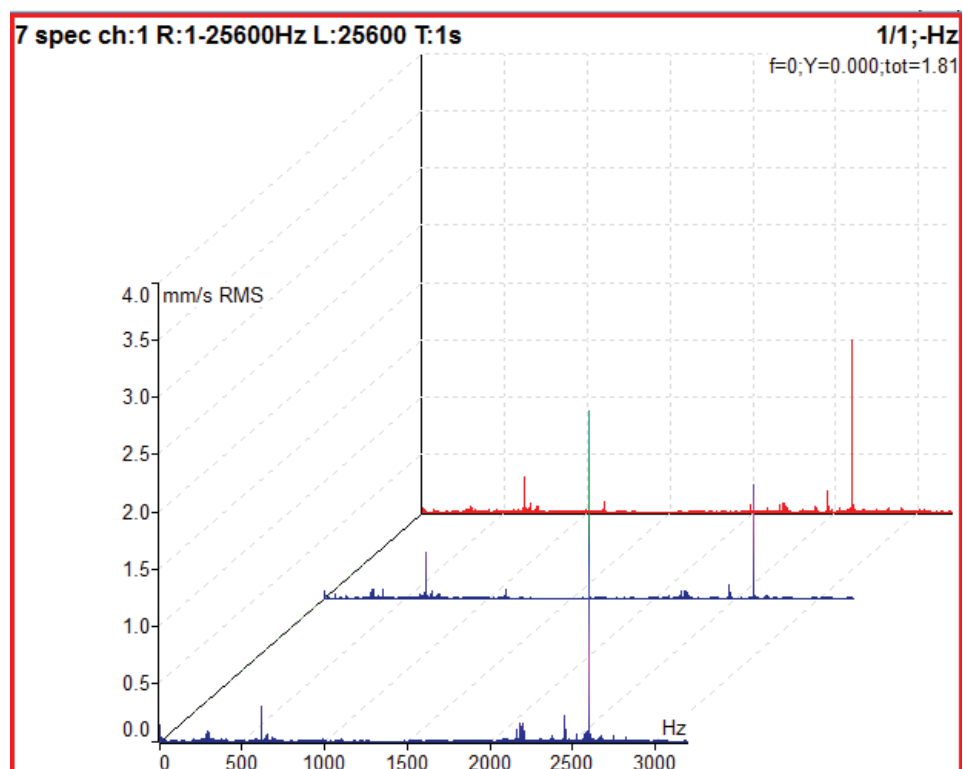
Tabulka 5-15 Mezní hodnoty zrychlení vibrací  $a_{RMS}$  [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám

Výstraha	>0,9
Nedoporučuje se trvale provozovat	>1,5

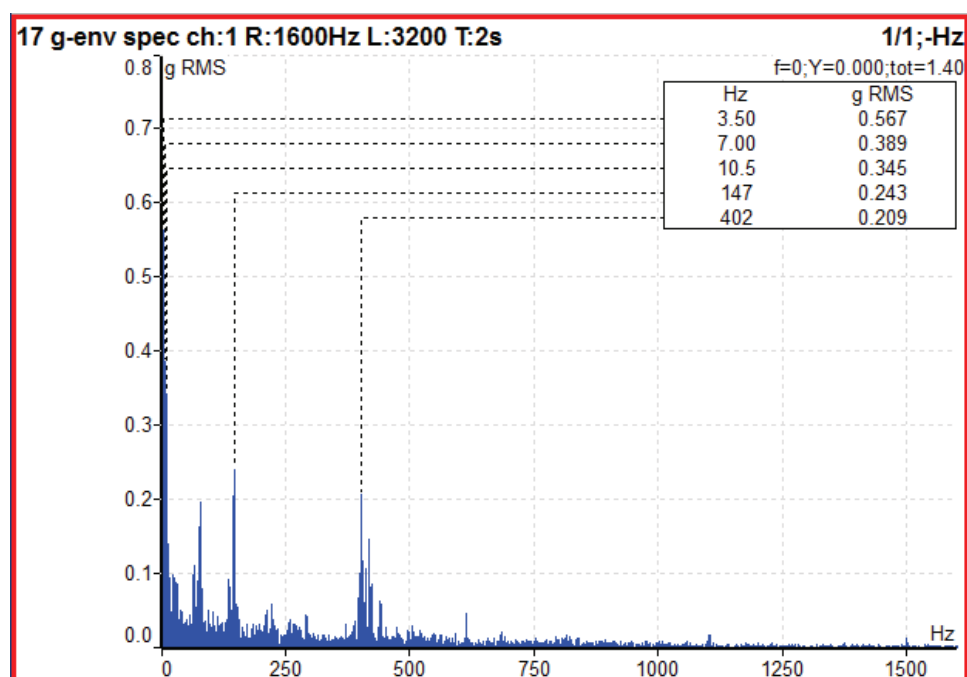
Tabulka 5-16 Naměřené hodnoty vibrací

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 1-1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )					
Datum měření		1. 12. 2015	5. 2. 2016	15. 3. 2016	
Měřicí místo		L1	L1	L1	
Veličina	Směr				
Max. ot/min		400 (6,667 Hz)	400 (6,667 Hz)	400 (6,667 Hz)	
$v_{RMS}$ [mm/s]	V	0,46	0,51	0,52	
	H	0,62	0,68	0,62	
	A	0,34	0,45	0,31	
$a_{RMS}$ [g]	V	4,08	1,86	2,68	
	H	0,78	0,99	0,64	
	A	0,74	1,63	0,52	
Pozn.		bez zátěže	bez zátěže	bez zátěže	

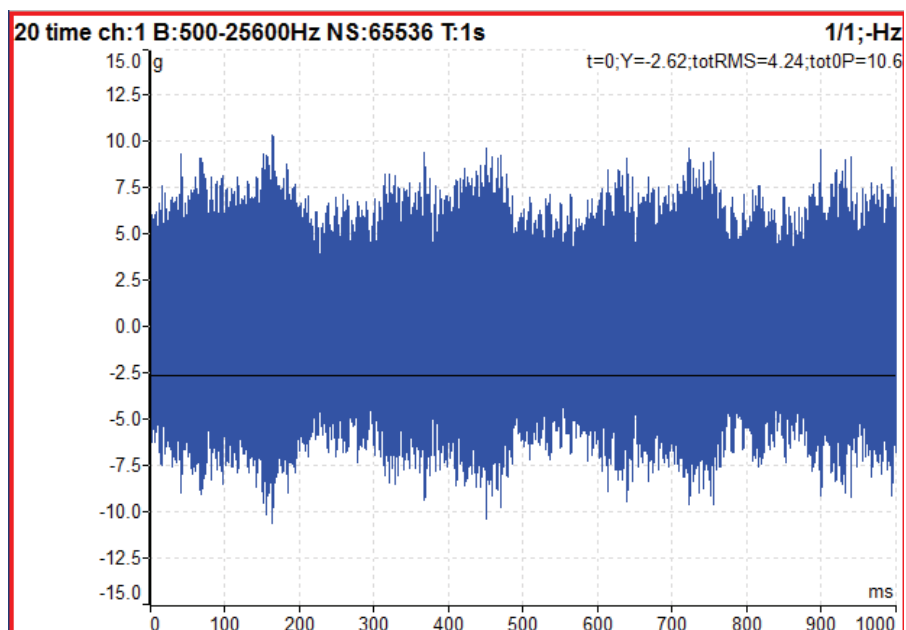
Z tabulky můžeme pozorovat vysoké hodnoty zrychlení vibrací ve vertikálním směru, nejhorší při 1. měření. Nejhorší hodnoty celkově byly zaznamenány při druhém měření. Nicméně velikost vibrací se nezvyšuje. Hodnoty naznačují zhoršený stav ložisek, popřípadě ozubeného převodu. Na grafu 5-21 můžeme vidět zvýšené hodnoty na násobku otáčkové frekvenci, což asi odpovídá projevům ozubení. Jelikož jsou však hodnoty koncentrace otěrových kovů v pořádku, jsou zvýšené hodnoty nejspíše způsobeny předpětím ozubení.



Obr. 5-19 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací ve vertikálním směru srovnání třech měření, (1. měření je vpředu, 3. měření vzadu)



Obr. 5-20 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací 1. měření, vertikální směr, násobek otáčkové frekvence na 147 Hz může odpovídat projevům ozubení



Obr. 5-21 Časový záznam zrychlení vibrací 1. měření, vertikální směr

### 5.7.2 Tribodiagnostika

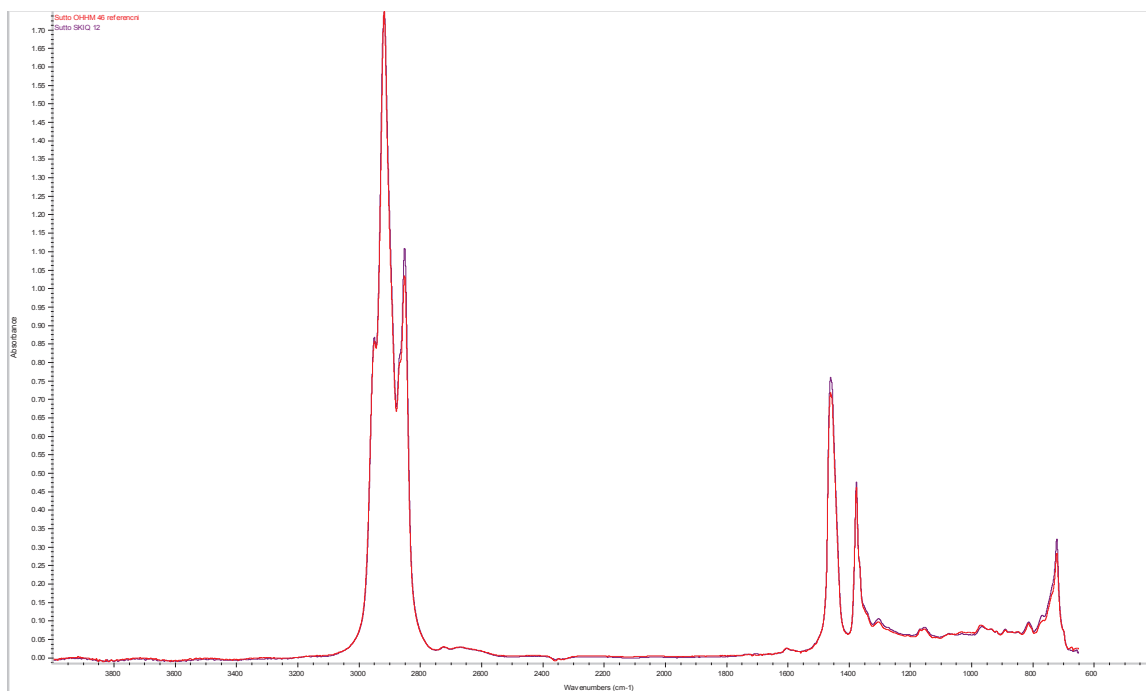
Tabulka 5-17 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – stroj SKIQ 12

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota	Referenční
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm <sup>2</sup> /s	ČSN EN ISO 3104	40		50	66,766	44,755
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,175	0,093
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0.05	0,0051	0,002
Mechanické nečistoty	mg/100cm <sup>3</sup>	ČSN 65 6220		100	150	138	92,8
Kód čistoty		ČSN ISO 4406				19/17/13	17/15/13
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	Hodnota	Referenční
obsah Fe	ppm	metodika		60	80	3,4	< 1,0
obsah Cu	(mg/kg)			30	40	3,5	2,2
obsah Cr				12.5	15	8,2	7,2
obsah Sn				15	20	<3	<3
obsah Si				20	30	<5,1	<5,1

Další část tabulky s množstvím aditiv je na následující straně.

Aditiva, degradace					Hodnota	Referenční
obsah S	ppm	metodika			8656	2665
obsah P	(mg/kg)				89,1	179,1
obsah Mg					<101	<101
obsah Mo					<1	<1
obsah Na					< 1005	1224
obsah Zn					13,6	171,7
obsah Ca					< 10	31,9

Vzorek sterého oleje má zvýšenou viskozitu ve srovnání s referenčním olejem, což se může negativně projevit ve vyšších mechanických ztrátách. Ve vzorku oleje je obsaženo mírně zvýšené množství mechanických nečistot. Opět se změnilo množství některých aditiv.



Obr. 5-22 Spektrální analýza, srovnání starého a referenčního oleje

Spektrální analýza neukazuje žádné výrazné změny při porovnání starého a referenčního oleje.

## 6 Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo zhodnotit technický stav obráběcích CNC center ve společnosti Armatury Group. Vyhodnocení proběhlo z hlediska Vibrodiagnostiky a Tribodagnostiky. Měření vibrací jsem prováděl v místě vřetene, pokud jím stroj disponoval. V místě vřetene se díky vysokým maximálním otáčkám vibrace lépe vyhodnocují. U strojů které rotující vřeteno nemají, jsem provedl měření vibrací v místě pod rotující upínací deskou, kde se vibrace kvůli nižším maximálním otáčkám vyhodnocují o něco hůře. Měření proběhlo pomocí snímačů umístěných ve třech směrech. Odběr olejů byl prováděn z nádrží, ve kterých byl olej pro společné mazání, jak rotují upínací desky, ale i ozubených kol a ložisek převodovky, díky tomuto faktu bylo bohužel obtížnější nalézt přesně místo případného opotřebení. Toto technické řešení mazání je uplatněno u strojů vyrobených v TOS Hulín, tedy Powerturn 2000 C1, SKIQ 8 a SKIQ 12. U stroje Hermle C60 jsem nenašel schéma mazání v technických listech, nicméně dle poskytnutých informací pracovníkem údržby byl odebraný olej použitý pro mazání upínacího stolu. U stroje SHW UniSpeed 5 se nepodařilo nalézt požadovanou nádrž.

Nejhorší hodnoty vibrací jsem naměřil u stroje SHW UniSpeed 5, kde proběhlo měření vibrací v měřicím místě vřetene. Zvýšené hodnoty zrychlení vibrací můžou znamenat poškození ložiska, doporučil bych provést další měření a sledovat drsnost obráběných povrchů, pokud by došlo ke zhoršení, doporučuji výměnu ložiska. Tribodiagnostiku jsem u tohoto stroje neprováděl, jelikož se mi nepodařilo najít olejovou nádrž k mazání upínacího stolu. Frézovací vřeteno je mazáno dlouhodobým mazacím tukem, jehož odběr by vyžadoval demontáž hlavy, což jsem z technických důvodů a nežádoucích prostojů ve výrobě nepožadoval.

Další stroj kde jsem měřil vibrace v místě vřetene, byl Hermle C60. Tento stroj vypadá z pohledu naměřených vibrací v dobrém technickém stavu. Stejně tak rozbor oleje k mazání upínacího stolu zde neukazuje žádné vážné problémy. Frézovací vřeteno je mazáno dlouhodobým mazacím tukem, jehož odběr by vyžadoval demontáž hlavy, což jsem stejně jako v předchozím případě neprováděl.

U dalších strojů jsem měřil hodnoty vibrací v místě pod rotačním upínacím stolem. Nejhorší hodnoty jsem naměřil u stroje SKIQ 12, kde došlo při druhém měření k překročení mezních hodnot zrychlení vibrací ve všech směrech, dále jsem zde naměřil vysoké hodnoty zrychlení vibrací ve vertikálním směru při všech měřeních, což by mohlo znamenat poškození ložiska, nebo ozubených kol převodovky, nicméně rozbor oleje závažné problémy nenaznačil, takže jsou zvýšené vibrace nejspíše způsobené předpětím ozubení.

U stroje SKIQ 8 jsem naměřil zvýšené hodnoty vibrací při druhém měření, mohly by znamenat začínající opotřebení ložiska, při dalším měření byly ale hodnoty v normě. Rozbor oleje ukázal zvýšenou koncentraci železa a mírně zvýšenou koncentraci chromu, což by mohlo značit začínající opotřebení ozubení i některého z ložisek.

Hodnoty zrychlení vibrací ve vertikálním směru u stroje Powerturn 2000 C1 byly mírně zvýšené. Hodnoty zrychlení vibrací měly stoupající tendenci, což může značit začínající poškození ložiska, doporučil bych provést další měření a sledovat hodnoty. Rozbor oleje ukázal jeho znečištění a zvýšenou viskozitu, což může mít za následek zvýšení mechanických ztrát. Je zde patrný úbytek aditiv, olej proto doporučuji vyměnit.

Výsledky měření a zkoušek ukazují, že ne všechny stroje jsou z pohledu technické diagnostiky v ideálním technickém stavu. Bezprostřední riziko havárie nejspíše nehrozí, přesto bych doporučil společnosti Armatury Group zavedení technické diagnostiky, která vychází v konečném výsledku jako levnější varianta, než řešení poruchy až když se naplno projeví.



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Janu Blatovi, Ph.D., za jeho trpělivost a rady při konzultacích. Také chci poděkovat panu Ing. Davidu Šeděnkovi za jeho pomoc v laboratoři. Dále bych chtěl poděkovat vedení firmy Armatury Group a. s. za umožnění měření na jejich strojích a všem zaměstnancům firmy, kteří se mi věnovali.

## Použitá literatura

1. **Armatury Group a. s.** Profil společnosti. [Online] [Citace: 30. duben 2016.] [http://www.armaturygroup.cz/soubory/ag\\_profil\\_cz\\_web.pdf](http://www.armaturygroup.cz/soubory/ag_profil_cz_web.pdf).
2. **Armatury Group.** Stavba nových hal. [Online] 2015. <http://www.armaturygroup.cz/img/foto%20new51.jpg>.
3. **Blata, Jan a Juraszek, Janusz.** Metody technické diagnostiky teorie a praxe. [Online] 2013. [Citace: 30. duben 2016.] <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/18-MetodyTechnickeDiagnostiky.pdf>. ISBN 978-80-248-2997-5.
4. **Helebrant, František a Ziegler, Jiří.** *TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA A SPOLEHLIVOST II.: VIBRODIAGNOSTIKA*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004.
5. **Helebrant, František, Ziegler, Jiří a Marasová, Daniela.** *TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA A SPOLEHLIVOST I.: TRIBODIAGNOSTIKA*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004.
6. **Rentgenové spektrometry.** *Web Spectro.cz.* [Online] [Citace: 30. duben 2016.] <http://www.spectro.cz/rentgenove-spektrometry/>.
7. **Jak funguje Spektrometr.** *Web Spectro.cz.* [Online] [Citace: 30. duben 2016.] <http://representatives.spectro.com/spectro-cz/products/xrf/principle>.
8. **Adash. A4400 VA Pro.** [Online] 2016. [Citace: 2. květen 2016.] [http://adash.cz/doc/a4400/A4400\\_VA4\\_CZ.pdf](http://adash.cz/doc/a4400/A4400_VA4_CZ.pdf).

Technické listy obráběcích center, zapůjčené od společnosti Armatury Group a. s.

## Seznam obrázků

Obr. 1-1 Pohled na hlavní budovu a výrobní haly shora (2).....	11
Obr. 1-2 Výšečový graf působností v průmyslových odvětvích (1) .....	11
Obr. 1-3 Výšečový graf výrobních produktů (1) .....	12
Obr. 1-4 Pohled na jednu z výrobních hal (1).....	13
Obr. 1-5 Stroj Hermle C60 .....	14
Obr. 1-6 Naklápací otočný stůl Hermle C60, převzetí z technických listů.....	14
Obr. 1-7 Stroj SHW UniSpeed 5 .....	15
Obr. 1-8 SHW UniSpeed 5 pohled zevnitř.....	16
Obr. 1-9 Stroj Powerturn 2000 C1 .....	17
Obr. 1-10 Powerturn 2000 C1 vnitřek stroje.....	17
Obr. 1-11 Stroj SKIQ 8 .....	18
Obr. 1-12 Stroj SKIQ 12 .....	19
Obr. 2-1 Vanova křivka (3).....	21
Obr. 3-1 Klasifikace signálů podle jejich průběhů (4) .....	23
Obr. 3-2 Periodický signál (4).....	23
Obr. 3-3 Tlakový akcelerometr (3)                      Obr. 3-4 Smykový akcelerometr (3) .....	25
Obr. 3-5 Příklad několika druhů snímačů (3).....	26
Obr. 4-1 Vzorkovnice s oleji .....	29
Obr. 4-2 Kapilární viskozimetr .....	30
Obr. 4-3 Coulometr .....	31
Obr. 4-4 Coulometr .....	32
Obr. 4-5 Rentgenový spektrometr SCPECTRO XEPOS .....	33
Obr. 4-6 Gravimetrické zařízení .....	34
Obr. 4-7 Mikroskop.....	35
Obr. 4-8 Infračervený spektrometr.....	36
Obr. 5-1 Analyzátor vibrací Adash A4410 VA4 Pro (8) .....	37
Obr. 5-2 Program A4410 Virtual Unit .....	38
Obr. 5-3 Umístění snímačů v místě obráběcí hlavy .....	40
Obr. 5-4 Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru, první je měření vpředu, druhé uprostřed a vzadu je poslední měření. Je zde vidět otáčková složka bez velkých násobků. ....	41
Obr. 5-5 Spektrální analýza, srovnání starého a referenčního oleje.....	43
Obr. 5-6 Umístění snímačů v místě obráběcí hlavy .....	43
Obr. 5-7 Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru, (první měření je vpředu, poslední vzadu) .....	45
Obr. 5-8 Časový záznam zrychlení vibrací ve vertikálním směru, první měření, kde byly hodnoty nejhorší.....	45
Obr. 5-9 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací, vertikální směr, 1. měření. ....	46
Obr. 5-10 Umístění snímačů pod upínacím stolem.....	46
Obr. 5-11 Časový záznam zrychlení vibrací při 2. měření ve vertikálním směru.....	48
Obr. 5-12 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací ve vertikálním směru 2. a 3. měření. (2. měření je vpředu, 3. vzadu).....	48
Obr. 5-13 Spektrální analýza, srovnání starého a referenčního oleje.....	50
Obr. 5-14 Umístění snímačů pod upínacím stolem.....	50
Obr. 5-15 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací, vertikální směr (1. měření vpředu 2. uprostřed a 3. vzadu) .....	52
Obr. 5-16 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací, axiální směr, 2. měření.....	52
Obr. 5-17 Spektrální analýza, srovnání starého a referenčního oleje.....	54
Obr. 5-18 Umístění snímačů pod upínacím stolem.....	54

Obr. 5-19 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací ve vertikálním směru srovnání třech měření, (1. měření je vpředu, 3. měření vzadu).....	56
Obr. 5-20 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací 1. měření, vertikální směr, násobek otáčkové frekvence na 147 Hz může odpovídat projevům ozubení .....	56
Obr. 5-21 Časový záznam zrychlení vibrací 1. měření, vertikální směr .....	57
Obr. 5-22 Spektrální analýza, srovnání starého a referenčního oleje.....	58

## Seznam tabulek

Tabulka 1-1 Technické parametry stroje Hermle C60 .....	15
Tabulka 1-2 Technické parametry stroje SHW UniSpeed 5 .....	16
Tabulka 1-3 Technické parametry stroje Powerturn 2000 C1 .....	17
Tabulka 1-4 Technické parametry stroje SKIQ 8 .....	18
Tabulka 1-5 Technické parametry stroje SKIQ 12 .....	19
Tabulka 3-1 Vliv připevnění na výkon snímače (4).....	26
Tabulka 4-1 Příklad údajů označených na vzorkovnici .....	29
Tabulka 5-1 Mezní hodnoty kmitání pro obráběcí centra se svislou osou pro rotační obrobky, dle normy ČSN 200065 .....	38
Tabulka 5-2 Parametry oleje podle výrobce: .....	39
Tabulka 5-3 Parametry oleje podle výrobce: .....	40
Tabulka 5-4 Mezní hodnoty zrychlení vibrací $a_{RMS}$ [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám.....	40
Tabulka 5-5 Naměřené hodnoty vibrací.....	41
Tabulka 5-6 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – stroj Hermle C60.....	42
Tabulka 5-7 Mezní hodnoty zrychlení vibrací $a_{RMS}$ [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám.....	44
Tabulka 5-8 Naměřené hodnoty vibrací.....	44
Tabulka 5-9 Mezní hodnoty zrychlení vibrací $a_{RMS}$ [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám.....	47
Tabulka 5-10 Naměřené hodnoty vibrací.....	47
Tabulka 5-11 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – stroj Powerturn 2000 C1 .....	49
Tabulka 5-12 Mezní hodnoty zrychlení vibrací $a_{RMS}$ [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám.....	51
Tabulka 5-13 Naměřené hodnoty vibrací.....	51
Tabulka 5-14 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – stroj SKIQ 8.....	53
Tabulka 5-15 Mezní hodnoty zrychlení vibrací $a_{RMS}$ [g] pro obráběcí centra vzhledem ke specifickým otáčkám.....	55
Tabulka 5-16 Naměřené hodnoty vibrací.....	55
Tabulka 5-17 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – stroj SKIQ 12.....	57

## Seznam příloh

Příloha A	Tribodiagnostická zpráva vzorku oleje ze stroje Hermle C60
Příloha B	Tribodiagnostická zpráva vzorku oleje ze stroje Powerturn 2000 C1
Příloha C	Tribodiagnostická zpráva vzorku oleje ze stroje SKIQ 8
Příloha D	Tribodiagnostická zpráva vzorku oleje ze stroje SKIQ 12